

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MAURICIO FREIXO POGIAN

ESTIMATIVA DE VAZÃO MÍNIMA EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

VITÓRIA

2016

MAURICIO FREIXO POGIAN

ESTIMATIVA DE VAZÃO MÍNIMA EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Edmilson Costa Teixeira

VITÓRIA

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Tecnológica,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

P746e Pogian, Mauricio Freixo, 1989-
Estimativa de vazão mínima em pequenas bacias
hidrográficas / Mauricio Freixo Pogian. – 2016.
129 f. : il.

Orientador: Edmilson Costa Teixeira.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Microbacias hidrográficas. 2. Recursos hídricos – Gestão ambiental. 3. Bacias hidrográficas – Administração. 4. Vazão mínima – Estimativas. 5. Regionalização hidrológica. 6. Método Silveira. I. Teixeira, Edmilson Costa. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

“Estimativa de vazão mínima em pequenas bacias hidrográficas”.

MAURICIO FREIXO POGIAN

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira
Orientador – DEA/CT/UFES

Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis
Examinador Interno - DEA/CT/UFES

Prof. Dr. Geraldo Lopes da Silveira
Examinador Externo – UFSM

Coordenador do PPGEA: Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
Vitória, ES, 11 de Outubro de 2016.

A Alice e Adelson, meus pais, pela
educação primeira e inspiração
constante, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por tudo mais;

A minha Família, Mãe, Pai, Irmãos, Noiva e Amigos, pela compreensão, carinho e apoio durante todo tempo;

Aos colegas e professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, pela amizade e cumplicidade durante este período;

A toda equipe do LabGest, pela convivência, troca de ideias/conhecimento e colaboração, desde os projetos de Iniciação Científica, fundamentais para o meu desenvolvimento como pessoa e pesquisador;

Ao professor Edmilson Costa Teixeira, pela orientação, pelas oportunidades, atenção e paciência dispendidas;

Aos professores José Antônio Tosta dos Reis e Geraldo Lopes da Silveira, membros da comissão examinadora, pelas valiosas contribuições dadas ao trabalho;

Aos servidores da Ana (Bruno Collischonn) e da Agerh (Luiz Henrique Boff e Pedro Ramos), pela disponibilização de informações necessárias à pesquisa;

Aos demais amigos e colegas que, de uma forma ou de outra, apoiaram a realização deste trabalho, em especial, a Diogo Buarque, Bruna Tuão e João Marcos.

“Se você não construir o seu sonho, alguém vai contratá-lo para ajudar a construir o dele”.

Tony Gaskins

RESUMO

O conhecimento adequado da disponibilidade hídrica é fator primordial para a adequada gestão de recursos hídricos em uma determinada região. No entanto, em muitos locais, as informações e os dados são limitados e, nem sempre, estão disponíveis no espaço e na escala adequados. Neste sentido, a estimativa das vazões características de um curso d'água, em particular as vazões mínimas que são utilizadas como referência para os processos de outorga de recursos hídricos, torna-se ferramenta de suporte à gestão das águas e do território. Diversos métodos têm sido testados e utilizados para estimativa da vazão dos cursos d'água. Em locais sem monitoramento (sem dados), a determinação, em geral, baseia-se na similaridade espacial das funções, variáveis e parâmetros hidrológicos, entre bacias de uma mesma região, permitindo a transferência entre locais com para locais sem dados, nos chamados estudos de regionalização. O presente trabalho visou contribuir para a melhoria da estimativa de vazão mínima em pequenas bacias hidrográficas. Fez-se o levantamento e análise qualitativa dos métodos existentes/utilizados, buscando-se destacar aspectos que favorecem ou não a sua aplicação em bacias menores. Dois métodos de estimativa de vazão (Regionalização Tradicional e Método Silveira) foram selecionados para avaliação qualitativa em oito bacias hidrográficas localizadas nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, com áreas de drenagem variando de 4,9 a 210,3 km². O Método Tradicional de regionalização, utilizado pelos órgãos gestores e/ou disponível na literatura, apresentou, de forma geral, melhores resultados tanto para a Q_{90} quanto para a $Q_{7,10}$. Os piores resultados obtidos pelo Método Silveira estão, possivelmente, relacionados às incertezas trazidas pela qualidade e quantidade de dados de entrada. Por fim, foram propostas diretrizes visando ao aperfeiçoamento das estimativas, as quais apontam a necessidade de aumento do monitoramento hidrológico, além do desenvolvimento e aperfeiçoamento dos métodos que trazem o conceito de vazão ecológica e que considerem mais do que simplesmente os aspectos hidrológicos.

Palavras-chaves: Vazão mínima. Regionalização hidrológica. Método Silveira.

ABSTRACT

Proper knowledge of water availability is a key factor for the proper management of water resources in a given region. However, in many places, information and data are scarce and not always available in an adequate space and scale. In this sense, the estimation of characteristics discharge of a watercourse, in particular the minimum discharge rates used as references for the granting processes of water resources, becomes a support tool for water management and planning. Several methods have been tested and used to estimate the stream flow. In places without monitoring (no data) the discharge estimative is generally based on spatial similarity of functions, variables and hydrological parameters from basins in the same region, allowing information transferences between locations with data and locations without data, called regionalization studies. So, this study aims to improve the minimum flow estimations in small watersheds. Existents methods were researched and analyzed qualitatively, aiming to highlight aspects that support applications in small basins. Two estimation methods (Traditional Regionalization and Silveira method) were selected for a qualitative evaluation in eight river basins in the states of Minas Gerais and Espirito Santo, with drainage areas ranging from 4.9 to 210.3 km². The traditional method of regionalization used by managers and available in literature showed, in general, better results for Q_{90} and $Q_{7,10}$ estimative. The worst results obtained by Silveira Method are probably due to the uncertainties related to the quality and quantity of input data. Finally, the guidelines proposed to allow an improvement of the estimative indicates the need for increased hydrological monitoring, as also the need of the development and improvement of the estimation methods, mainly those based on the ecological flow concept and that consider other aspects than the hydrological ones.

Keywords: Minimum flow. Hydrological regionalization. Silveira method.

FIGURAS

Figura 1: Desenho esquemático do método de interpolação linear (caso 1).....	32
Figura 2: Representação esquemática do método de interpolação linear (caso 2)...	33
Figura 3: Representação esquemática do método de interpolação linear (caso 3)...	34
Figura 4: Representação esquemática do Método Silveira.	40
Figura 5: Hidrograma fictício com indicação dos períodos de recessão.	40
Figura 6: Mapa de localização dos postos fluviométricos em estudo.....	50
Figura 7: Tela de análise da vazão $Q_{7,10}$ no ambiente SisCAH 1.0.	52
Figura 8: Tela de análise das vazões de permanência Q_{90} no ambiente SisCAH 1.0.	53
Figura 9: Acesso ao portal I ³ Geo, através do site da Seama/Iema.	56
Figura 10: Acesso às camadas de cursos d'água com vazão na plataforma I ³ Geo..	57
Figura 11: Localização do ponto de interesse na plataforma I ³ Geo.	57
Figura 12: Utilização da ferramenta de identificação e obtenção das informações na plataforma I ³ Geo.	58
Figura 13: Tela inicial do SAGA.	60
Figura 14: Acesso ao banco de dados do SAGA, para a bacia selecionada.	61
Figura 15: Indicação de curso d'água/seção fluvial e apresentação dos resultados.	61
Figura 16: Tela inicial do SISPB, com campos para inserção dos dados iniciais.....	66
Figura 17: Inserção e plotagem dos dados de precipitação.	70
Figura 18: Exemplo de inserção da evapotranspiração no SISPB.....	71
Figura 19: Tela de resultados do SISPB.	75

QUADROS

Quadro 1: Métodos de estimativa de vazão mínima levantados e analisados qualitativamente.	43
Quadro 2: Postos fluviométricos e pontos de interesse estudados.	48
Quadro 3: Formas de estimativa de vazão mínima (via Método Tradicional) utilizadas.	54
Quadro 4: Modelos hidrológicos aplicáveis aos postos localizados no estado de Minas Gerais.	62
Quadro 5: Postos pluviométricos utilizados na análise do período de estiagem para o Método Silveira.	67
Quadro 6: Valores de vazão utilizados na simulação via Método Silveira.	68
Quadro 7: Coeficientes de cultura recomendados pela FAO e adaptações.	73
Quadro 8: Coeficientes de cultura médios utilizados na modelagem do método Silveira.	74

TABELAS

Tabela 1: Séries de evapotranspiração potencial média mensal (mm/dia) utilizadas nas simulações do Método Silveira, para os pontos localizados no Espírito Santo. .72

Tabela 2: Erros relativos e valores de Q_{90} observados e estimados para os pontos de estudo.86

Tabela 3: Erros relativos e valores de $Q_{7,10}$ observados e estimados de para os pontos de estudo.....87

Tabela 4: Parâmetros de ajustes obtidos para o Método Silveira.87

SIGLAS E SÍMBOLOS

Agerh – Agência Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo

ANA – Agência Nacional de Águas

CE – Coeficiente de Escoamento

Cesan – Companhia Estadual de Saneamento (Cesan)

C_{inf} – Coeficiente de infiltração

Eletrobras - Centrais Elétricas Brasileiras S.A

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

GPRH – Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos

HidroWeb/ANA – Sistemas de Informações Hidrológicas da ANA

Iema – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo

Igam – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

Incaper – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

JAXA – Agência de Aeroespacial do Japão

K_c – Coeficiente de cultura

K_{sub} – Coeficiente de recessão

MMA – Ministério do Meio Ambiente

Nasa – Agência Espacial Norte Americana (em português)

P_{eq} – Precipitação Equivalente

$Q_{7,10}$ – Vazão mínima de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos

Q_{90} – Vazão mínima com permanência de 90%

Q_{mld} – Vazão média de longa duração

RuralMinas – Fundação Rural Mineira

SAGA – Sistema Simplificado de Apoio à Gestão das Águas

SCBH-ES – Sistema de Controle de Balanço Hídrico do Espírito Santo

Seama – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo

Seapa – Secretaria da Agricultura Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais

Sema – Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso

Semad – Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais

SIG – Sistema de Informações Geográficas

Singreh – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SisCAH – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas

SISPB – Sistema de estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias

TRMM – Missão de Medição de Chuvas Tropicais (em português)

UFV – Universidade Federal de Viçosa

APÊNDICES

Apêndice A: Mapas de localização dos pontos de estudo, com destaque para as bacias hidrográficas nas quais se inserem.

Apêndice B: Hidrogramas analisados para a seleção de períodos de estiagem.

Apêndice C: Resultados do ajuste do Método Silveira.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1	GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	21
3.2	BACIAS HIDROGRÁFICAS	23
3.3	ESTIMATIVA DE VAZÕES MÍNIMAS	25
3.3.1	Método Tradicional de Regionalização	30
3.3.2	Método da Interpolação Linear	31
3.3.3	Método de Chaves e outros (2002).....	34
3.3.4	Método da Interpolação Linear e Método de Chaves Modificados.....	36
3.3.5	Método Silveira	39
4	METODOLOGIA.....	42
4.1	LEVANTAMENTO E ANÁLISE QUALITATIVA DE MÉTODOS	42
4.2	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS MÉTODOS.....	44
4.2.1	Seleção de métodos	44
4.2.2	Seleção dos pontos de análise de vazão.....	45
4.2.3	Metodologia empregada para cada método	52
4.2.4	Comparação dos métodos	76
4.3	PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA O APERFEIÇOAMENTO DA DETERMINAÇÃO DE VAZÃO EM PEQUENAS BACIAS	77
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
5.1	ANÁLISE QUALITATIVA DOS MÉTODOS.....	78
5.1.1	Método Tradicional de Regionalização	79
5.1.2	Método da Interpolação Linear	81

5.1.3	Método de Chaves e outros (2002).....	82
5.1.4	Método da Interpolação Linear e Método de Chaves Modificados.....	83
5.1.5	Método Silveira	84
5.2	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS SELECIONADOS	85
5.3	PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA O APERFEIÇOAMENTO DA ESTIMATIVA DE VAZÃO EM PEQUENAS BACIAS.....	91
5.3.1	Disponibilidade de informações hidrometeorológicas.....	91
5.3.2	Métodos específicos para pequenas bacias	92
5.3.3	Vazão ecológica e métodos holísticos.....	92
5.3.4	Aplicação e utilização do método Silveira.....	93
5.3.5	Disponibilidade sazonal	93
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	95
7	REFERÊNCIAS	97
	APÊNDICES	105

1 INTRODUÇÃO

A vazão de um rio possui fatores determinantes diversos que são interligados direta ou indiretamente no ciclo hidrológico, variando temporal e espacialmente. O conhecimento adequado desses fatores e dos processos hidrológicos envolvidos constitui-se em grande desafio na Hidrologia. O entendimento, em geral, é qualitativo, e nem sempre permite o gerenciamento adequado dos recursos hídricos dentro da bacia hidrográfica (TUCCI, 2002).

Neste sentido, a apropriação adequada das vazões características de um curso d'água (mínimas, máximas, médias), bem como das funções relacionadas a elas (curvas de permanência, de máximas/mínimas, etc.), é determinante para gestão da água na bacia, sendo necessária para subsidiar os mais diversos projetos de usos da água, além de permitir análises para eventos extremos de secas ou cheias.

Tratando-se de vazões mínimas, isto é, os menores valores da série de vazões, sua apropriação traduz-se na informação da quantidade de água minimamente disponível ao longo do tempo no leito dos cursos d'água. Tais vazões ocorrem em períodos de seca, devido ao esgotamento de reservas de água do subsolo que afloram nas fontes de talvegues dos cursos d'água. As vazões mínimas são normalmente estudadas com base exclusivamente em medidas fluviométricas, podendo ser analisada por três enfoques (SILVEIRA; SILVEIRA, 2003).

O enfoque estatístico, bastante comum nos estudos hidrológicos, considera as vazões como variáveis aleatórias, sendo aplicadas técnicas estatísticas para avaliação das probabilidades de ocorrência. A vazão mínima estatística geralmente utilizada em estudos de disponibilidade é a vazão mínima média de sete dias com dez anos de período de retorno, a $Q_{7,10}$. O enfoque hidrológico considera a curva de permanência de vazões, função que fornece a porcentagem de tempo em que um determinado valor de vazão é ultrapassado ou igualado. Por fim, o enfoque ecológico considera valores que garantam a sobrevivência dos ecossistemas, sendo definida em função da realidade local (bacia hidrográfica), a partir de estudos multidisciplinares ecohidrológicos (SILVEIRA; SILVEIRA, 2003).

Considerando que as vazões mínimas estão vinculadas a períodos críticos de disponibilidade hídrica, elas determinam a utilização da água, constituindo-se de

vazões de referência para processos de outorga de recursos hídricos. De acordo com Pereira e Lanna (1996), isto garante a disponibilidade mesmo nos períodos de estiagem, com menor possibilidade de falhas no atendimento às demandas. Entretanto, na maior parte do tempo, uma vazão considerável não será utilizada, podendo ocasionar insatisfações, por parte de usuários, no sentido de se aumentar as vazões outorgadas.

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos, prevista em legislação federal (BRASIL, 1997), é um dos instrumentos mais importantes para a gestão da água. Ela tem como objetivo assegurar o controle dos usos da água, adequando demandas e disponibilidades, possibilitando uma divisão mais justa e equilibrada deste recurso e evitando/diminuindo conflitos entre os diversos usuários (BRASIL, 1997; ANA, 2015a). Neste sentido, o conhecimento adequado das vazões mínimas de referência subsidia a utilização das mais diversas formas e usos dos recursos.

No Brasil, nas décadas de 60, 70 e 80, as demandas, em geral, estavam associadas a grandes aproveitamentos ou grandes projetos, sobretudo, ligados ao setor elétrico e localizados em bacias consideradas grandes. Assim, historicamente, a maior parte das estações fluviométricas no país e, conseqüentemente, a maior quantidade e melhor qualidade de informações fluviométricas referem-se a estas grandes bacias (PAIVA; PAIVA, 2003).

Com o aumento da utilização da água em pequenas bacias, tem-se a necessidade cada vez maior de se atentar aos aspectos locais e à pequena escala, além de se conhecer a distribuição temporal e espacial da água nos pequenos mananciais. Grande parte da utilização da água refere-se a pequenos aproveitamentos hídricos, aos usos agropecuários em pequenas comunidades rurais, tornando-se fundamental a consideração das interações e influências destes pequenos usos no sistema como um todo. Desta forma, há uma grande demanda por estudos hidrológicos confiáveis nestas pequenas bacias (SILVEIRA; TUCCI; SILVEIRA, 1998; TAMIOSSO, 2012).

Considerando a carência de informações hidrológicas, diversos métodos têm sido utilizados para estimar a vazão dos cursos d'água. Em locais sem monitoramento, a determinação, em geral, baseia-se na similaridade espacial das funções, variáveis e parâmetros hidrológicos, entre bacias de uma mesma região, permitindo a

transferência entre locais com para locais sem dados, nos chamados estudos de regionalização de vazões, sendo bastante difundidos e utilizados. Modelos hidrológicos com parâmetros extrapolados (ex. chuva-vazão) também têm sido utilizados para tais estimativas (SILVEIRA, 1997; TUCCI, 2002, ANA, 2013).

A regionalização hidrológica é um método relativamente confiável, em condições de disponibilidade de dados e em média/grandes bacias, e supre satisfatoriamente a carência de informações hidrológicas; no entanto, a depender da qualidade e da quantidade das informações disponíveis, da estrutura e dos parâmetros do modelo, pode não ser um método seguro para a extrapolação hidrológica, particularmente em pequenas bacias. Tucci (2002) ressalta que a falta generalizada de dados hidrológicos para pequenas bacias no Brasil não pode ser suprida pela regionalização.

Silveira (1997) atenta para a existência de limitações relativas à utilização de tais métodos, como: as diferenças existentes entre as escalas espaciais e temporais dos mecanismos de transformação chuva-vazão nas pequenas e grandes bacias; as dificuldades de caracterização de regiões hidrologicamente homogêneas dadas às especificidades locais do meio físico; e a dificuldade de obtenção de dados convencionais confiáveis para as vazões mínimas.

Em face disto, Silveira (1997) desenvolveu um método baseado no deplecionamento das vazões em períodos de estiagens, o qual utiliza modelo chuva-vazão simplificado, algumas poucas medições de vazão e dados de precipitação para ajuste de seus parâmetros, sintetização de séries de vazão e estimativa das vazões mínimas.

Por fim, a adequada estimativa da vazão mínima subsidia a melhor gestão/distribuição da água, tornando cada vez mais necessário o aperfeiçoamento dos métodos existentes e o desenvolvimento de novos métodos, particularmente adequados a situações de carência de dados e a pequenas bacias.

Neste sentido, foram definidos os objetivos do presente trabalho, que são descritos a seguir.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Contribuir para o aperfeiçoamento da estimativa de vazão mínima em pequenas bacias hidrográficas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Levantar e analisar métodos de estimativa de vazão mínima quanto ao potencial de aplicação em pequenas bacias hidrográficas;
- b) Considerando métodos de estimativa de vazão mínima selecionados, avaliar a aplicabilidade dos mesmos para pequenas bacias hidrográficas;
- c) Propor diretrizes para o aperfeiçoamento da determinação de vazão mínima em pequenas bacias.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Desde os primórdios da humanidade, a água sempre esteve presente como a base do desenvolvimento econômico e social, sendo um dos recursos mais intensamente utilizados pela sociedade.

Suas propriedades e características a torna fundamental para a existência e manutenção da vida, uma vez que faz parte dos tecidos vegetais, do corpo humano e dos animais. Além disso, trata-se de insumo necessário em qualquer processo produtivo industrial e agropastoril, além de compor paisagens, e muitas outras utilidades.

Estes diferentes usos, considerando suas características, requerem água em diferentes quantidades e diferentes níveis de qualidade. Estes aspectos são indissociáveis, sendo que a qualidade pode ser afetada durante o ciclo hidrológico, em condições naturais ou em detrimento da ação antrópica (SETTI et al., 2000).

Da mesma forma que a água não se encontra espacialmente disponível de forma bem distribuída (em quantidade e qualidade), as demandas também são variáveis. Quando ocorre em abundância, a água muitas vezes é tratada como bem livre, sem valor econômico. Entretanto, com o crescimento da demanda, surgem diversos conflitos entre os diferentes usos e usuários da água, tornando-a escassa e disputada. Assim, o recurso precisa ser gerido como bem econômico, devendo ser-lhe atribuído o justo valor (SETTI et al., 2000; BRAGA et al., 2005). Para Machado (2004), este gerenciamento é uma necessidade premente e objetiva ajustar as demandas por água em níveis sustentáveis, de modo a garantir a convivência harmoniosa entre os usos atuais e futuros.

No tocante aos aspectos legais, a principal legislação sobre a temática no Brasil é a Lei Federal nº 9433/1997 (BRASIL, 1997), a qual instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabeleceu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh), representando um marco na gestão de águas no país. Por ter sido fruto de intensa participação de todos os segmentos da sociedade interessados no uso e na conservação da água, traz as características de

descentralização e da participação (TEIXEIRA, 2003). Esta política se fundamenta nos seguintes aspectos, conforme Brasil (1997):

- A água é um bem de domínio público, ou seja, é de todos e, ao mesmo tempo, não é de ninguém, sendo seu uso concedido pelo Poder Público;
- A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, alertando para a necessidade da utilização conservacionista e racional deste bem;
- Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- A unidade territorial de gestão de recursos hídricos é bacia hidrográfica; facilitando a gestão e o confronto entre disponibilidades e demandas;
- A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, permitindo espaços de decisões e discussões coletivas.

Dentre os instrumentos de gestão previstos nas políticas nacional e estaduais de recursos hídricos, destaca-se a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Seu objetivo principal é assegurar o controle dos usos da água, possibilitando uma divisão mais justa e equilibrada deste recurso, evitando ou diminuindo os conflitos entre os diversos usuários e garantindo o efetivo exercício do direito de acesso à água.

A outorga deve ser vista como um instrumento de divisão da água entre os mais diversos tipos de usos dentro de uma bacia. Esta distribuição deve buscar atender as necessidades ambientais, econômicas e sociais por água, visando à redução/minimização de conflitos e possibilitando o atendimento a demandas futuras. A distribuição inevitavelmente requer o entendimento e a aplicação de conceitos técnicos (hidrologia, hidráulica, ecologia, qualidade da água, etc.) e aspectos legais (competência, direitos e responsabilidades), devendo levar em

consideração aspectos quantitativos, qualitativos, bem como as variações temporais e espaciais da água.

Em geral, para implementação do processo de outorga é adotada uma vazão mínima de referência, a qual caracteriza um momento crítico em disponibilidade, sendo realizados a partir desta vazão os cálculos de alocação do recurso (MACHADO, 2004).

As vazões de referência são geralmente definidas por vazões com alta permanência no tempo (como a Q_{90} , vazão que é igualada ou superada em 90% do tempo) ou por vazões mínimas associadas a probabilidades de ocorrência (como a $Q_{7,10}$ – vazão mínima, média de 7 dias consecutivos e 10 anos de período de retorno).

3.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS

Diversas definições para o termo “bacia hidrográfica” têm sido formuladas e apresentadas na literatura, entretanto, para Teodoro e outros (2007), os conceitos mostram grande similaridade, sempre em torno da consideração de um recorte no espaço, baseado na área de concentração de determinada rede de drenagem.

Conforme apresentado por Gomes e Pessoa (2010), de forma mais tradicional, bacia hidrográfica pode ser conceituada como uma área definida topograficamente, limitada pelos divisores de água e drenada por um curso d'água ou por uma rede de cursos d'água, cuja vazão é direcionada para uma única saída, denominada de exultório.

Considerando a bacia hidrográfica como área de intervenção e gestão de recursos hídricos, Lanna (1995) expõe que a vantagem desta abordagem está no fato de a rede de drenagem de uma bacia consistir em “caminhos preferenciais de grande parte das relações causa-efeito, particularmente aquelas que envolvem o meio hídrico, tornando as análises facilitadas”. Entretanto, segundo o mesmo autor, dificilmente os limites municipais e estaduais respeitam os divisores da bacia e, conseqüentemente, a dimensão espacial de algumas relações causa-efeito de caráter econômico e político.

Para Nascimento (2011), nesses compartimentos naturais (bacias e sub-bacias hidrográficas), os recursos hídricos passam a atuar como indicadores das condições do ecossistema, uma vez que a qualidade e a quantidade da água da bacia são influenciadas pela natureza e grau de intensidade das transformações advindas das atividades humanas desenvolvidas nesta.

Ao se olhar para o conceito de bacia hidrográfica, observa-se que a própria definição permite que estes compartimentos possam ser divididos em partes menores, interligadas, de ordem hierárquica inferior dentro de uma malha hídrica – as sub-bacias, pequenas e microbacias – sendo que as definições encontradas na literatura para estas subdivisões apresentam as mais diversas abordagens (TEODORO et al., 2007; PAIVA; PAIVA, 2003).

Apesar da trama conceitual, o fato é que o tamanho da bacia (sub-bacia ou microbacia) hidrográfica tomada como área de estudo, seja para o planejamento seja para realização de estudos técnicos, influencia nos métodos para obtenção de dados e informações e, por consequência nos resultados a serem obtidos.

De acordo com Fernandes e Silva (1994, apud NASCIMENTO, 2011), a subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem em sub-bacias permite o detalhamento de problemas difusos, tornando mais fácil, por exemplo, a identificação de focos de degradação de recursos naturais ou de processos de degradação ambientais instalados.

Para Santos (2004), observa-se a tendência de um planejamento facilitado nas bacias menores. Tecnicamente, a espacialização de informações tende a se tornar mais simples e efetiva, ainda, os problemas e desafios tornam-se mais centralizados ou limitados espacialmente. Estrategicamente, há uma tendência de se garantir uma maior participação e envolvimento dos diversos atores interessados (a quantidade de atores, em geral, é limitada e a interação natural entre eles já é grande).

Lanna (1995), entretanto, ressalta que o gerenciamento de bacias hidrográficas deve ocorrer não somente em uma, mas em duas escalas: em menor detalhe, a fim de considerar a complexidades das inter-relações entre as partes no todo e; em maior detalhe, considerando as especificidades de cada parte, suas demandas e limitações.

Por fim, ressalta-se que a tomada de decisão e a gestão de águas em nível local (pequena/microbacias) devem considerar o dinamismo dos processos intervenientes e, de acordo com Gomes e Pessoa (2010), deve estabelecer uma escala de estudo que possibilite o *“reconhecimento e a investigação integrada dos aspectos ambientais (econômicos, ecológicos e sociais)”*. Gomes e Pessoa (2010) defendem, ainda, que o desenvolvimento de propostas de integração, neste âmbito, pode ser mais harmonioso, conciliando o desenvolvimento econômico local e a conservação do ambiente e dos recursos hídricos.

3.3 ESTIMATIVA DE VAZÕES MÍNIMAS

O aproveitamento da água e sua utilização pelos mais diversos usos passa pela determinação da quantidade de água disponível em um determinado corpo hídrico. Em rios e córregos, a quantificação de vazões depende invariavelmente do monitoramento sistemático ao longo do tempo.

Em princípio, Santos (2004) destaca a carência de bases de informação confiáveis, densas e disponíveis em escala adequada, sobretudo quando se remete a pequenas bacias, impossibilitando a representação de pequenos afluentes e nascentes.

A rede hidrométrica ainda é pouco densa e a maior parte dos dados fluviométricos no Brasil refere-se a grandes bacias ou a grandes rios impossibilitando uma avaliação mais confiável da disponibilidade hídrica, principalmente em cursos d'água e bacias menores.

Colischonn e Pante (2011) detalham que apenas menos de 1% dos postos fluviométricos referem-se a bacias com áreas de drenagem menores que 10 km² e menos de 5% dos postos referem-se a áreas menores do que 100 km².

Silveira (2007) relata que esta situação é decorrente da priorização, nas décadas de 60, 70 e 80, do armazenamento de grandes volumes d'água para o aproveitamento da água na geração de energia elétrica.

Assim, em casos de aproveitamento da disponibilidade hídrica de pequenos mananciais (pequenas bacias), a carência de dados para a avaliação da demanda

pode trazer grandes incertezas aos resultados da quantificação de vazões. Para Silveira (1997), estas avaliações podem considerar viável um aproveitamento inviável ou contrário.

Para Paiva e Paiva (2003), a variação dos processos hidrológicos nas escalas espaciais e temporais implica na necessidade de se transferir informações entre pequenas e grandes bacias com critério e cautela, sendo fundamental conhecer e compreender os processos hidrológicos e, conseqüentemente, melhor relacionar parâmetros de modelos e características físicas do compartimento hidrológico.

A Agência Nacional de Águas (ANA), responsável pela outorga em corpos hídricos de domínio federal, na ausência de dados de série histórica próxima ao local de interesse da demanda, tem utilizado/recomendado as seguintes técnicas para extrapolação de vazões de referência (ANA, 2013):

- **Regionalização de vazões:** caracteriza-se por uma variedade de métodos que utilizam informações regionais para sintetizar dados de vazão, isto é, utilizam informações existentes para estimar vazões de referência em locais sem dados, com base em variáveis explicativas como área de drenagem e precipitação e considerando a similaridade espacial dos parâmetros hidrológicos. Um caso particular de regionalização consiste em utilizar a **vazão específica**, considerando que cada quilômetro quadrado em média contribui com a mesma vazão de referência (ANA, 2013).
- **Simulação chuva x vazão:** Considerando que as séries de precipitação estão mais disponíveis (mais longas), calculam-se as vazões de uma bacia a partir dessas séries, juntamente com dados de evaporação e parâmetros fisiográficos (TAMIOSSO, 2012). A partir das séries de precipitação, então, é possível completar vazões desconhecidas ou estimar as mesmas para os novos cenários existentes. Uma técnica em particular tem sido recomendada pela ANA (2007b) e aplicada em pequenas bacias. Tendo sido desenvolvido por **Silveira (1997)**, baseia-se na combinação de um modelo chuva-vazão simplificado com uma pequena amostragem de vazões (no mínimo três, em um período de estiagem), substituindo técnicas usuais de regionalização, em geral, aplicáveis para bacias maiores que 100km² (ANA, 2013; TAMIOSSO,

2012). Ressalta-se que a ANA desenvolveu uma interface gráfica em MATLAB® para aplicação do método.

Para rios de domínio estadual, a emissão da outorga é uma atribuição dos órgãos de gestão estaduais. De acordo com Garaventa (2015) e Silva (2015) não se tem conhecimento da existência de levantamento recente acerca dos métodos de estimativa de vazão mínima de referência que são utilizados por estes órgãos em cada estado.

ANA (2007a) apresenta levantamento de informações relativas à outorga de recursos hídricos com dados de 15 estados brasileiros. Constata-se a partir deste que não há informações padronizadas sendo que, para o cálculo da disponibilidade hídrica, os órgãos estaduais, em geral, utilizam estudos de regionalização hidrológica.

Diversos estudos, projetos de pesquisa e outros, na literatura, têm tratado da estimativa de vazões. Particularmente, métodos de regionalização hidrológica são frequentemente abordados e definidos para diversas bacias no país. São destacados os seguintes estudos e referências:

- Silveira (1997) desenvolveu e avaliou método específico para pequenas bacias baseado no comportamento da bacia durante a estiagem. O método considera uma amostragem reduzida de vazões e a simulação de série de vazões a partir de ajuste de modelo chuva-vazão simplificado. Os resultados encontrados para 6 microbacias (1 a 10 km²) localizadas no Rio Grande do Sul, indicaram um erro padrão para as estimativas da curva de permanência na ordem de 20%.
- Chaves e outros (2002) propuseram alternativa ao método tradicional de regionalização de vazões naturais baseada na utilização de técnicas de inter e extrapolação automáticas em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas). Obtiveram resultados melhores em relação ao método tradicional, comparando os erros médios e um coeficiente de eficiência.
- Agra e outros (2003) apresentaram discussões sobre a utilização de técnicas simplificadas de transferência de informação hidrológica, comparando

resultados obtidos por três metodologias, a saber: vazão específica, equações de regionalização e uma terceira avaliação, baseada na utilização do coeficiente de escoamento como parâmetro regional. Verificaram que a metodologia do coeficiente de escoamento tende a apresentar bons resultados na transferência de informações de médias bacias para pequenas bacias, desde que se tenham boas informações quanto à precipitação no local de estudo.

- Amorim, Oliveira Netto e Mediondo (2005) analisaram erros relativos à utilização de diferentes métodos para regionalização de vazões mínimas e médias, a saber: o método tradicional (ELETROBRAS, 1985a), método baseado na interpolação linear, método proposto por Chaves e outros (2002), método da interpolação linear modificado e o Método Chaves modificado. Como resultado, não encontraram diferenças expressivas entre as cinco metodologias, obtendo erros médios semelhantes.
- Ribeiro, Marques e Silva (2005) avaliaram três metodologias de regionalização de vazões mínimas na bacia do Rio Doce, a saber, Eletrobras (1985a), Chaves e outros (2002) e interpolação linear, baseada no princípio da vazão específica, comparando-as com os valores observados em 57 postos fluviométricos. O método tradicional da Eletrobras (1985a) apresentou maior precisão (erro relativo médio de 16,56%).
- ANA (2007b) apresentou resultados da aplicação do Método Silveira (1997) para estimativa de disponibilidade hídrica em três bacias hidrográficas, localizadas na Região Centro Oeste, com áreas variando entre 4,8 e 12,5 km². Foram comparadas as vazões estimadas pelo método Silveira com as vazões observadas (a partir de série histórica disponível), gerando erros que variaram de 15 a 23% para estimativa da Q_{90} .
- Novaes e outros (2007) avaliaram o desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões, sendo, o método tradicional, o método da interpolação linear, o método de Chaves, interpolação linear modificada e método de Chaves modificado. Estimaram as vazões mínimas e médias de longa duração em 21 estações fluviométricas situadas na bacia do Paracatu

que abrange áreas do Distrito Federal e dos Estados de Minas Gerais e Goiás. Não foram observadas diferenças expressivas no desempenho dos métodos.

- ANA (2009), considerando a Nota Técnica nº 113/GEREG/SOF/ANA (ANA, 2007b) que testa preliminarmente o Método Silveira, apresenta sistema computacional desenvolvido para auxiliar na aplicação do Método Silveira (1997), mostrando sua interface amigável e permitindo sua difusão e utilização, mesmo por técnicos que não possuem familiaridade com modelos chuva-vazão. Além disso, apresenta estimativas para 4 pontos de bacias hidrográficas de domínio federal, localizadas nos estados de Goiás, Minas Gerais e no Distrito Federal, com áreas de drenagem entre 14,9 e 57,8 km².
- Colischonn e Pante (2011) aplicaram o método Silveira (1997), utilizando como dados de entrada a precipitação estimada por satélite TRMM, com a interface gráfica computacional da ANA. Obtiveram resultados semelhantes aos obtidos com dados pluviométricos medidos e expuseram as vantagens da utilização do satélite em casos de ausência de dados de precipitação adequados, destacando a sua grande cobertura e disponibilidade imediata dos dados.
- ANA (2012) aplicou método Silveira em três pequenas bacias, no estado de Goiás, afluentes da bacia do rio São Marcos, com áreas de drenagem variando entre 14,3 e 152,1 km², realizando três medições de vazão entre os meses de junho e agosto. Com as vazões de referência obtidas, foi estabelecida uma equação regional representativa recomendada para pequenos mananciais pertencentes à bacia do rio São Marcos.
- Tamiosso (2012) objetivou testar a aplicabilidade do Método Silveira (1997) na estimativa de vazões utilizando dois modelos chuva-vazão, a saber, o MPB2 (modelo simplificado desenvolvido na própria metodologia Silveira) e o IPH2, em bacias com dados escassos, no Rio Grande do Sul. Os dois modelos resultaram em pequenos erros para estimativa da vazão mínima.
- Reis e outros (2013) estabeleceram funções regionais para estimativa da vazão mínima Q_{90} para a região que envolve as bacias hidrográficas dos rios

Jucu, Benevente, Novo, Iconha e Itapemirim, região centro-sul do estado do Espírito Santo. Foram identificadas duas regiões hidrologicamente homogêneas na área de estudo, sendo estabelecidas funções que estimaram os valores da vazão mínima de referência com erros inferiores a 15%.

- Silva Júnior (2014) estabeleceu equações regionais para definição de curva de permanência de vazões e curva de probabilidade de vazões mínimas para as bacias dos rios Itapemirim e Itabapoana, sul do Espírito Santo, empregando diversos métodos de regionalização. As equações obtidas para a curva de permanência de vazões obtiveram resultados satisfatórios.
- Gasparini (2014) elaborou estudo de regionalização de vazões mínimas, médias e máximas para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, Espírito Santo, avaliando cinco metodologias de regionalização, a saber: Tradicional, Interpolação Linear, Chaves e outros (2002), Interpolação Linear Modificado, e Chaves Modificado, para bacias com áreas variando entre 195,8 e 5168km². O Método Tradicional apresentou melhores desempenhos, em relação aos demais métodos, para todas as vazões estudadas.

A seguir são apresentadas descrições breves dos métodos de estimativa levantados neste trabalho, os quais compreendem métodos de regionalização hidrológica e de simulação chuva x vazão.

3.3.1 Método Tradicional de Regionalização

Segundo Tucci (2002), a regionalização pode ser entendida como uma transferência de informações de um local para outro, na forma de uma variável, função ou parâmetro, dentro de uma área dita com comportamento hidrológico homogêneo.

A determinação dos parâmetros em locais sem monitoramento (sem dados) baseia-se na semelhança espacial das funções, variáveis e parâmetros hidrológicos, entre bacias de uma mesma região, permitindo a transferência entre locais com para locais sem dados.

Conforme descrição apresentada por Eletrobras (1985a), o emprego do método requer a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e o ajuste de equações de regressão regionais para as diferentes variáveis de interesse, sendo utilizados parâmetros físicos e climáticos das bacias de drenagem como variáveis explicativas.

As regiões hidrologicamente homogêneas são definidas a partir da observação da distribuição geográfica das estações e por análises de indicadores estatísticos de correlação, variação e erros entre os valores das vazões observadas e das estimadas pelo modelo de regionalização (ELETROBRAS, 1985a).

Calculadas as vazões de interesse para cada posto fluviométrico, de cada região homogênea, e estabelecidas/determinadas as variáveis explicativas pertencentes a esta região, aplicam-se funções de regressão, para obtenção das equações regionais. Estas equações permitem estimar as variáveis de interesse para qualquer ponto da região homogênea.

3.3.2 Método da Interpolação Linear

Este método, também chamado de Método da Proporcionalidade de Vazões, foi desenvolvido por Eletrobras (1985b), no sentido de diminuir o impacto da limitação de dados na estimativa de vazões mínimas. Por este método, as vazões relativas aos pontos de interesse são estimadas a partir de vazões conhecidas de pontos fluviométricos próximos, no mesmo curso d'água, a jusante ou a montante.

Quando a seção de interesse está a montante ou a jusante de apenas um posto fluviométrico (Figura 1) considera-se que a vazão específica das duas seções é a mesma. Portanto, a vazão é estimada a partir da transladação dos dados, utilizando uma relação de proporcionalidade de áreas de drenagem, conforme a Equação 1:

$$Q_A = Q_B \cdot \frac{A_A}{A_B} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

Q_A é a vazão no ponto de interesse, em m^3/s ;

Q_B é a vazão no ponto com dados disponíveis, a jusante ou a montante do ponto de interesse, em m^3/s ;

A_A é a área de drenagem do ponto de interesse, em km^2 ;

A_B é a área de drenagem do ponto com dados disponíveis, a jusante ou a montante do ponto de interesse, em km^2 .

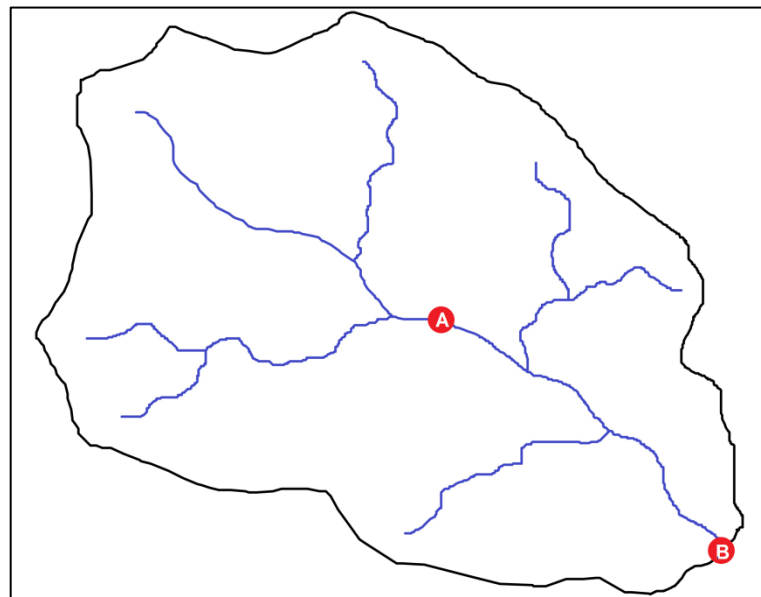


Figura 1: Desenho esquemático do método de interpolação linear (caso 1).

Quando o local de interesse está situado entre dois pontos fluviométricos (Figura 2), a vazão é estimada como sendo a vazão na seção de montante mais um incremento da vazão proporcional ao aumento da área de drenagem entre a estação de montante e a de jusante. A vazão é estimada pela Equação 2:

$$Q_A = Q_M + (Q_J - Q_M) \cdot \left(\frac{A_A - A_M}{A_J - A_M} \right) \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

Q_A é a vazão no ponto de interesse;

Q_M é a vazão no ponto com dados disponíveis a montante do ponto de interesse;

Q_J é a vazão no ponto com dados disponíveis a jusante do ponto de interesse;

A_A é a área de drenagem do ponto de interesse;

A_M é a área de drenagem do ponto com dados disponíveis a montante do ponto de interesse;

A_J é a área de drenagem do ponto com dados disponíveis a jusante do ponto de interesse;

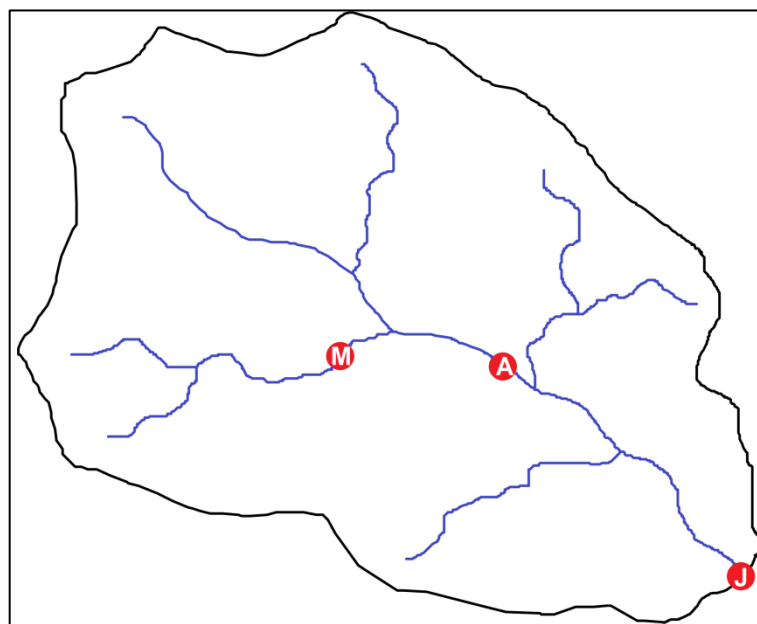


Figura 2: Representação esquemática do método de interpolação linear (caso 2).

Um último caso pode ocorrer quando o ponto de interesse (A) situa-se em um trecho de rio afluente, cuja foz está localizada entre dois postos fluviométricos situados em um curso d'água de ordem superior (Figura 3). Nesta situação, utiliza-se uma combinação dos casos anteriores, calculando-se a vazão na seção de confluência (Equação 2) e, a partir desta, utilizando-se a Equação 1 para estimar a vazão na seção de interesse.

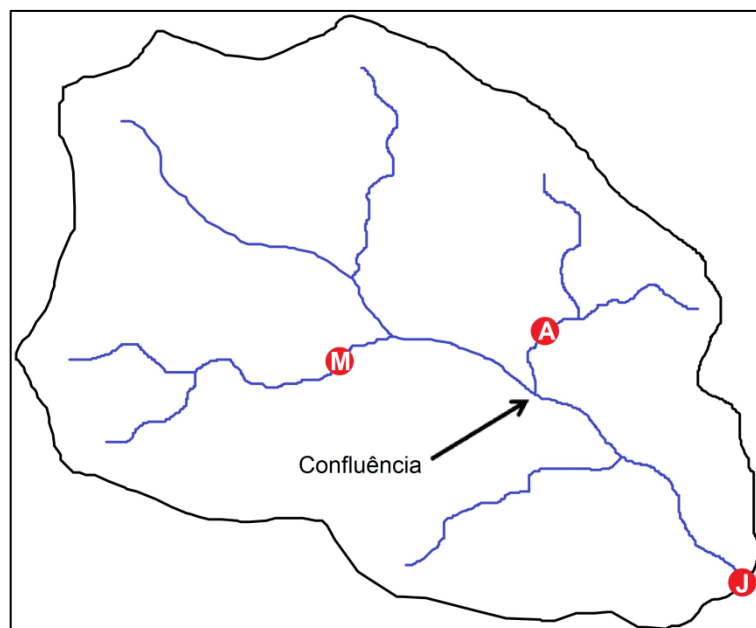


Figura 3: Representação esquemática do método de interpolação linear (caso 3).

3.3.3 Método de Chaves e outros (2002)

Este método baseia-se na interpolação/extrapolação de vazões, considerando a área de drenagem e as distâncias entre o ponto de interesse e o ponto de vazão conhecida (posto fluviométrico), isto é, a vazão no ponto de interesse é estimada em função da sua posição relativa em relação a pontos de vazão conhecida (postos fluviométricos próximos) (CHAVES et al., 2002). É um método bastante semelhante ao da Interpolação Linear, porém utiliza relações de distâncias entre os postos fluviométricos.

Da mesma forma que o método da Interpolação Linear, considerando as possíveis posições relativas entre postos fluviométricos e o ponto de interesse, são apresentadas três possibilidades de situações distintas.

Situação 1: Seção de interesse a montante/jusante de um posto fluviométrico

Nesta situação, idêntica ao caso esquematizado na Figura 1, utiliza-se a mesma Equação 1.

De acordo com Chaves e outros (2002), se os pontos de vazão conhecida e o ponto de interesse são relativamente próximos, a robustez da equação será elevada, além de haver alta probabilidade de os pontos estarem dentro de uma mesma região hidrológica. As áreas de drenagem, em geral, também possuem grandezas semelhantes.

Situação 2: Seção de interesse está entre dois postos fluviométricos

Conforme Figura 2, do método de Interpolação Linear, neste caso recomenda-se incorporar tanto a informação de montante como de jusante, sendo a vazão desconhecida é estimada pela Equação 3. Vale a pena notar que são incluídos pesos relativos à distância entre os pontos.

$$Q_A = A_A \cdot \left[\left(p_M \frac{Q_M}{A_M} \right) + \left(p_J \frac{Q_J}{A_J} \right) \right] \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:

$$p_M = \left(\frac{d_J}{d_M + d_J} \right) \quad \text{Equação 4}$$

$$p_J = \left(\frac{d_M}{d_M + d_J} \right) \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

Q_A é a vazão no ponto de interesse, em m³/s;

A_A é a área de drenagem do ponto de interesse, em km²;

Q_M é a vazão no ponto com dados disponíveis a montante do ponto de interesse, em m³/s;

A_M é a área de drenagem do ponto com dados disponíveis a montante do ponto de interesse, em km²;

Q_J é a vazão no ponto com dados disponíveis a jusante do ponto de interesse, em m^3/s ;

A_J é a área de drenagem do ponto com dados disponíveis a jusante do ponto de interesse, em km^2 ;

p_M é o peso relativo ao ponto com dados disponíveis a montante, adimensional;

p_J é o peso relativo ao ponto com dados disponíveis a jusante, adimensional;

d_M é a distância entre o posto de montante e a seção de interesse, em km;

d_J é a distância entre o posto de jusante e a seção de interesse, em km;

Situação 3: Seção de interesse está em um trecho de rio afluente cuja foz está entre dois postos fluviométricos de um curso d'água de ordem superior

Do mesmo modo, conforme Figura 3, este caso é uma generalização do método, na qual a vazão desconhecida pode ser estimada a partir de uma combinação das situações anteriores. Primeiramente, é calculada a vazão na seção de confluência dos cursos d'água (situação 2), então, a partir desta, é utilizada a equação da situação 1 para estimar a vazão na seção de interesse.

3.3.4 Método da Interpolação Linear e Método de Chaves Modificados

Considerando que o processo físico de formação das vazões é mais dependente dos volumes precipitados do que das áreas de drenagem, Novaes (2005) propôs a modificação das metodologias de interpolação linear e de Chaves e outros (2002), por meio da inserção da variável precipitação média em suas equações.

A modificação feita aos métodos, segundo Amorim, Oliveira Netto e Mendiando (2005), consiste da inserção da variável precipitação média nas estimativas, visto que esta possui grande influência no processo de formação das vazões. Assim, a

vazão na seção de interesse é também proporcional à relação entre os volumes precipitados.

A inserção desta variável reflete nas equações utilizadas no método, assim, elas ficam, conforme Novaes (2005):

- Para as situações nas quais a seção de interesse está a montante ou a jusante de apenas um posto fluviométrico (Figura 1), utiliza-se a Equação 6:

$$Q_A = \left(\frac{Q_B}{P_B \cdot A_B} \right) \cdot (P_A \cdot A_A) \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

Q_A é a vazão no ponto de interesse, em m³/s;

P_A é a precipitação média anual na área de drenagem do ponto de interesse, em mm;

A_A é a área de drenagem do ponto de interesse, em km²;

Q_B é a vazão no ponto com dados disponíveis, a jusante ou a montante do ponto de interesse, em m³/s;

P_A é a precipitação média anual na área de drenagem do ponto com dados disponíveis, a jusante ou a montante do ponto de interesse, em mm;

A_B é a área de drenagem do ponto com dados disponíveis, a jusante ou a montante do ponto de interesse, em km².

- Para situações nas quais o local de interesse está situado entre dois pontos de vazão conhecida (postos fluviométricos) (Figura 2), utiliza-se a Equação 7, para o Método da Interpolação Modificado, e a Equação 8, para o Método de Chaves Modificado:

$$Q_A = Q_M + \left(\frac{P_A \cdot A_A - P_M \cdot A_M}{P_J \cdot A_J - P_M \cdot A_M} \right) \cdot (Q_J - Q_M) \quad \text{Equação 7}$$

$$Q_A = (A_A \cdot P_A) \cdot \left[\left(p_M \frac{Q_M}{A_M \cdot P_M} \right) + \left(p_J \frac{Q_J}{A_J \cdot P_J} \right) \right] \quad \text{Equação 8}$$

Em que:

Q_A é a vazão no ponto de interesse, em m³/s;

P_A é a precipitação média anual na área de drenagem do ponto de interesse, em mm;

A_A é a área de drenagem do ponto de interesse, em km²;

Q_M é a vazão no ponto com dados disponíveis a montante do ponto de interesse, em m³/s;

P_M é a precipitação média anual na área de drenagem do ponto com dados disponíveis, a montante do ponto de interesse, em mm;

A_M é a área de drenagem do ponto com dados disponíveis, a montante do ponto de interesse, em km².

Q_J é a vazão no ponto com dados disponíveis a jusante do ponto de interesse, em m³/s;

P_J é a precipitação média anual na área de drenagem do ponto com dados disponíveis, a jusante do ponto de interesse, em mm;

A_J é a área de drenagem do ponto com dados disponíveis, a jusante do ponto de interesse, em km²;

p_M é o peso relativo ao ponto com dados disponíveis a montante, adimensional (Equação 4);

p_J é o peso relativo ao ponto com dados disponíveis a jusante, adimensional (Equação 5).

- Para as situações em que o ponto de interesse situa-se em um trecho de rio afluente, cuja foz está localizada entre dois postos fluviométricos (locais com vazões conhecidas) situados em um curso d'água de ordem superior (Figura 3) aplicam-se as novas equações combinadas.

3.3.5 Método Silveira

O método proposto por Silveira (1997) para avaliação de disponibilidade hídrica baseia-se na estimativa do comportamento da bacia na estiagem e, conforme o autor, consiste de duas etapas básicas (Figura 4):

- Amostragem de vazões (no mínimo três vezes) durante o período de descarga do aquífero, num curto espaço de tempo;
- Simulação de série de vazões a partir: (i) do ajuste de um modelo simplificado de balanço hídrico a partir de poucos valores de vazão conhecidos; (ii) da síntese de vazões diárias através da simulação chuva-vazão, considerando o histórico de precipitações e evapotranspirações regionais; e, (iii) da determinação da curva de permanência de vazões.

Trata-se de um método simplificado desenvolvido para suprir a carência de estudos e métodos confiáveis de estimativa de disponibilidade hídrica em pequenas bacias sem dados fluviométricos.

O método se baseia no comportamento hidrológico da bacia durante o período de estiagem, partindo do fato de que, em uma bacia pequena, as chuvas geram picos rápidos de cheia, e o período mais longo do hidrograma é composto pelas recessões ou deplecionamento (Figura 5). Na pequena escala, este processo é mais evidente dado o pequeno tempo de concentração das pequenas bacias, o que implica em uma resposta rápida aos estímulos de precipitações (SILVEIRA, 1997).

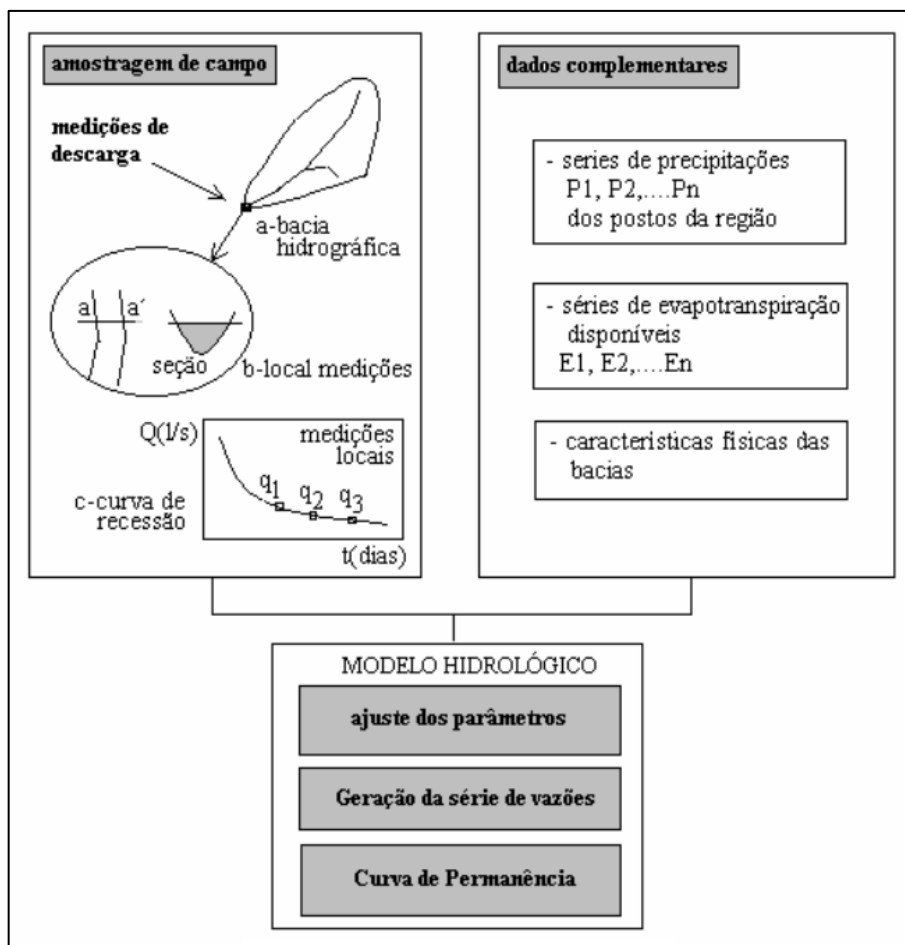


Figura 4: Representação esquemática do Método Silveira.

Fonte: Silveira (1997).

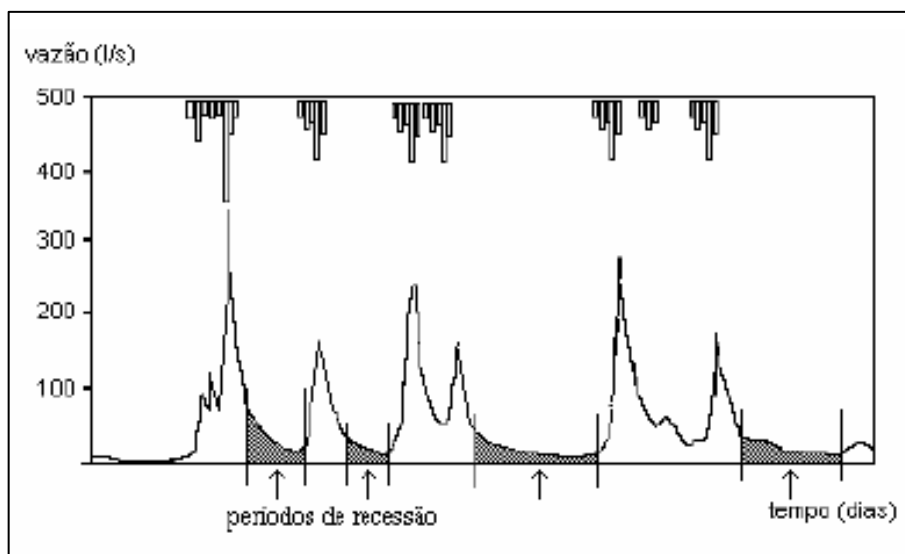


Figura 5: Hidrograma fictício com indicação dos períodos de recessão.

Fonte: Silveira (1997).

De acordo com Roche (1963, apud Silveira, 1997), o deplecionamento fluvial em termos de magnitude e taxa de decaimento das vazões pode ser caracterizado preliminarmente a partir de, no mínimo, três medições de descargas na seção de interesse espaçadas de alguns dias, em período de estiagem.

Neste sentido, dá-se vinculação local às estimativas, e pode ser ajustado um modelo chuva-vazão, a fim de se gerar uma série de vazões calculadas para as estiagens (SILVEIRA, 1997).

O modelo proposto por Silveira (1997) tem como premissa possuir o menor número de parâmetros possíveis que permita estimar a série de vazões médias diárias em uma pequena bacia hidrográfica e permitir fácil uso no ajuste e na extensão de séries.

A estrutura do modelo proposto define dois parâmetros de ajuste para o desenvolvimento do balanço hídrico. O coeficiente de infiltração (C_{inf}), o qual indica o percentual da precipitação que infiltra e gera escoamento de base, ou seja, relaciona-se à “*massa d’água que chega ao reservatório hipotético de escoamento subterrâneo*” (SILVEIRA, 1997).

O outro parâmetro, o coeficiente de recessão (K_{sub}), conforme Silveira (1997), indica a forma de decaimento das vazões ao longo do tempo, liberadas pelo reservatório de escoamento subterrâneo.

O procedimento de ajuste envolve realização de balanço hídrico através do modelo simplificado, com variação manual dos coeficientes. Realizado o ajuste do modelo à estiagem com vazões observadas, considera-se o fluviograma gerado como uma aproximação da produção hídrica da bacia, a qual pode ser tabulada na forma de uma curva de permanência para a seção de interesse. O fluviograma constitui uma série sintética de vazões, a partir da qual são obtidas as vazões mínimas de interesse (SILVEIRA, 1997).

4 METODOLOGIA

4.1 LEVANTAMENTO E ANÁLISE QUALITATIVA DE MÉTODOS

Foi realizada busca em literatura técnica e científica por métodos que vêm sendo utilizados para a estimativa de vazão mínima, incluindo os utilizados por órgãos gestores de recursos hídricos para definição da vazão de referência para outorga, além de outros órgãos públicos ou privados (universidades, consultorias, setores usuários, etc.). As principais referências utilizadas foram livros, relatórios, artigos técnicos e acadêmicos, legislações, e fontes oficiais de órgãos gestores de recursos hídricos.

Ainda, foi realizado contato, via e-mail e telefone, com a Agência Nacional de Águas (ANA), por meio de sua Superintendência de Regulação, para obtenção das informações, estudos e métodos utilizados por tal órgão para aplicação da outorga de recursos hídricos nos rios de domínio federal.

Em nível estadual, foram consultados órgãos gestores, sendo que aos órgãos do Espírito Santo e de Minas Gerais, foi dada maior ênfase por constituírem áreas de estudo e aplicação de métodos neste trabalho.

Quanto ao órgão gestor estadual capixaba, a Agência Estadual de Recursos Hídricos (Agerh), foi realizada reunião técnica de trabalho, a fim de discutir e entender a forma como o órgão estima as vazões mínimas para os processos de outorga. A reunião foi realizada com técnicos da Gerência de Regulação/Diretoria de Planejamento Hídrico do órgão, cuja atuação está diretamente relacionada ao desenvolvimento e aplicação de métodos utilizados para determinação de vazão mínima de referência.

Para obtenção de informações, estudos e métodos utilizados no Estado de Minas Gerais, foi realizado contato via e-mail com o Igam, Instituto Mineiro de Gestão das Águas, por meio de sua Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento em Recursos Hídricos.

Em ambas as abordagens, foram feitos questionamentos e discussão sobre a forma de estimativa da vazão de referência para outorga em rios de domínio estadual

(métodos conhecidos, utilizados ou não pelos órgãos), particularmente em pequenas bacias ou locais com carência de informações hidrometeorológicas em quantidade e qualidade.

Levou-se em consideração apenas os métodos com abordagem hidrológica ou estatística em função de sua larga utilização, bem como pela complexidade que envolve a aplicação de métodos ecológicos. Os métodos hidrológicos e estatísticos, baseados em registros históricos de vazão, apesar de não considerarem o aspecto ecológico, possuem como principal vantagem o pequeno número de variáveis necessárias para sua implementação, em geral, apenas a série histórica de vazões.

A discussão pautou a análise de referências bibliográficas, as quais apresentam a concepção ou utilização dos métodos. Foi realizada descrição de cada método, buscando destacar o que se espera como resposta em nível de pequena bacia. Foram levantados os pontos positivos e negativos de cada um dos métodos, especialmente os que favorecem ou não a sua utilização em pequenas bacias, incluindo em termos de simplicidade e viabilidade técnica de utilização.

O Quadro 1 apresenta os métodos levantados e analisados qualitativamente.

Método	Referência
Regionalização Tradicional	Eletrobras (1985a)
Interpolação Linear	Eletrobras (1985b)
Método de Chaves	Chaves e outros (2002)
Interpolação Linear Modificado	Novaes (2005)
Método de Chaves Modificado	Novaes (2005)
Método Silveira	Silveira (1997)

Quadro 1: Métodos de estimativa de vazão mínima levantados e analisados qualitativamente.

4.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DOS MÉTODOS

4.2.1 *Seleção de métodos*

Foram testados dois métodos para avaliação quantitativa em diversos pontos de análise, a saber: Regionalização Tradicional (ELETROBRAS, 1985a) e Método Silveira (1997). O primeiro, considerando sua universalização nos órgãos gestores; já o segundo, visto seu potencial de utilização para pequenas bacias e sua simplicidade de aplicação. Buscou-se com isto, estabelecer contraponto entre os métodos e, dependendo dos resultados, encaminhar propostas e diretrizes para os órgãos gestores.

É importante ressaltar que o método de Regionalização Tradicional é aplicável no contexto de médias e grandes bacias, em condições de existência de informações hidrológicas disponíveis que permitam a transferência para as seções sem dados. Em outras palavras, o método não é indicado para a aplicação em pequenas bacias, notadamente as que foram utilizadas neste trabalho.

No entanto, trata-se de um método largamente utilizado, também pelos órgãos gestores, muitas vezes indiscriminadamente (em pequenas bacias, sem informações hidrológicas consistentes), o que tende a trazer consequências negativas ao planejamento do uso dos recursos hídricos em determinada bacia.

Neste sentido, o método foi tomado para análise como uma referência de uso, em comparação com o Método Silveira, desenvolvido especificamente para suprir as carências no contexto das pequenas bacias.

Os demais métodos levantados carecem de informações fluviométricas em locais específicos em relação ao ponto de interesse, a jusante ou a montante. Isto acabou por inviabilizar a aplicação e avaliação qualitativa destes, em função da ausência dos dados necessários.

4.2.2 Seleção dos pontos de análise de vazão

As áreas ou bacias hidrográficas de estudo foram selecionadas conforme disponibilidade de dados fluviométricos que permitissem a apropriação da vazão mínima e as estimativas via métodos selecionados (Método Silveira e Regionalização Tradicional, utilizados pelos órgãos gestores).

Foi realizada busca por dados na base de dados hidrológicos HidroWeb (ANA, 2015b), a fim de que pudessem se obtidas séries que permitem a apropriação das vazões mínimas estatisticamente. Considerando a restrição de dados para pequenas bacias, a seleção dos postos foi realizada conforme segue.

A busca foi realizada pelo formulário de consulta do HidroWeb/ANA, sendo selecionados os campos “Tipo de Estação”, “Estado” e “Área de Drenagem”. Estações que não possuíam indicação de área de drenagem não foram consideradas. Foram considerados inicialmente os seguintes aspectos:

- Área de drenagem: em função do escopo da pesquisa, iniciou-se a busca por informações de locais com até 100km² de área de drenagem¹. Tal fato tornou-se um desafio à pesquisa uma vez que são escassos os dados para tais condições. Detectada, na prática, a escassez de estações nestas condições, resolveu-se abranger o estudo para áreas de até 300km².
- Unidade da Federação e Dominialidade: Iniciou-se a busca por estações localizadas no Espírito Santo, em virtude do estreito contato estabelecido com o órgão gestor deste estado. Dada à baixa densidade de estações neste estado, foi realizada busca também por estações de Minas Gerais. Restringiu-se a pesquisa, ainda, quanto à dominialidade dos cursos d'água, utilizando-se apenas estações localizadas em cursos de domínio estadual.

Em função dos fatores acima, as estações fluviométricas levantadas foram divididas em três grupos distintos:

¹ Gallina (2014), baseada em diversos estudos na literatura, define e utiliza o termo “pequenas bacias hidrográficas” como sendo aquelas com área em torno de 100 km².

- **Grupo A:** Estações localizadas no Espírito Santo, com área de drenagem até 200 km²;
- **Grupo B:** Estações localizadas no Espírito Santo, com área de drenagem entre 200 e 300 km²;
- **Grupo C:** Estações localizadas em Minas Gerais, com áreas de drenagem de até 100 km².

Ressalta-se que, no estado do Espírito Santo, a maior parte dos postos com até 100km² são de responsabilidade da Companhia Estadual de Saneamento (Cesan) ou do Instituto Estadual de Meio Ambiente (Iema) e monitoram apenas qualidade de água.

Destaca-se que a seleção dos postos baseou-se na área de drenagem explicitada na base de dados da ANA. Por diversos fatores, estes valores podem diferir-se dos valores reais, medidos e apresentados para efeito de estimativas de vazão, neste trabalho, conforme apresentado ainda neste item.

Os dados obtidos das estações previamente definidas, já consistidos, foram analisados quanto sua disponibilidade e tamanho da série, utilizando as ferramentas de “Pré-Processamento” do *software* SisCAH 1.0², o qual também realizou as análises estatísticas e determinação das vazões de interesse (item 4.2.3.1). O pré-processamento se deu conforme seguintes critérios:

- Foi considerando o início do ano hidrológico³ como sendo o mês de “outubro”. De acordo com Naghettini e Pinto (2007), o ano hidrológico é compreendido desde o início do período chuvoso até o fim da estação seca. Na região Sudeste do Brasil, em geral, o ano hidrológico inicia-se em outubro e termina

² Software para análises hidrológicas desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (GPRH/UFV) em parceria com diversas instituições de ensino e pesquisa, disponível no site <<http://www.gprh.ufv.br/>>.

³ Período contínuo de doze meses durante o qual ocorre um ciclo anual climático completo e que é escolhido por permitir uma comparação mais significativa dos dados meteorológicos (DNAEE, 1976 apud IGAM, 2015).

em setembro. A estação chuvosa vai de outubro a março, enquanto os meses secos vão de abril a setembro (IGAM, 2015).

- Os anos com mais de 10% de falhas foram diretamente descartados;
- Os demais anos com falhas e seus hidrogramas foram analisados individualmente. Em geral, os anos que possuíam falhas nos meses secos foram descartados, enquanto os anos com falhas em meses chuvosos foram mantidos, uma vez que as falhas em períodos de grandes vazões não influenciam significativamente a análise de vazões mínimas.

Após os descartes, não se fez necessário o preenchimento de falhas. Após o pré-processamento, foram selecionadas para análise estatística as estações com séries históricas de extensão superior a 20 anos, a exceção de um ponto utilizado.

Foi realizada também análise de estacionariedade das séries históricas utilizando o mesmo *software*. Esta análise tem por objetivo avaliar mudanças no comportamento do regime hidrológico registrado na série, as quais podem ser ocasionadas por diversos fatores tais como: construção de barramentos, mudanças no regime climático ao longo do tempo e outros. O SisCAH 1.0 realiza a análise por meio dos testes estatísticos de identidade da média e da variância dos dados (SOUZA et al., 2009).

Foi utilizado o módulo de estacionariedade do SisCAH, o qual permite a análise de forma contínua ao longo da série com amostra mínima de cinco dados, comparando a homogeneidade entre períodos adjacentes. Os anos que interagem negativamente, rejeitando as hipóteses de estacionariedade foram excluídos das análises. Postos com problemas de estacionariedade na série foram excluídos.

Após as análises, seguindo os critérios supramencionados, foram selecionadas para utilização as estações apresentadas no Quadro 2, sendo resumidas as principais informações destes pontos de estudo.

Ponto	Estação	Código	Bacia Hidrográfica	Curso D'água	Área de Drenagem (km²)	Coordenadas UTM Sirgas 2000	Período de Dados*	Extensão Total da Série de Vazões (anos)
A-1	Iconha Montante	57320000	Rio Novo	Rio Iconha	147,9	24K 309712 / 7701429	1970-2003	31
A-2	São José do Calçado	57770000	Rio Itabapoana	Rio Calçado	148,9	24K 224353 / 7672372	1956-2007	50
A-3	Valsugana Velha Montante	57040008	Rio Fundão / Reis Magos	Rio Timbuí / Ribeirão Sauanha	106,9	24K 338674 / 7791724	1985-2005	21
B-1	Matilde	57250000	Rio Benevente	Rio Benevente	210,3	24K 311120 / 7725850	1950-2005	53
B-2	Usina Fortaleza	57350000	Rio Itapemirim	Rio Norte Esquerdo	195,5	24K 248637 / 7745629	1969-2011	43
C-1	Fazenda Laranjeiras	40810350	Rio Paraopeba	Córrego Mato Frio	4,9	23K 552924 / 7778001	1977-2007	31
C-2	Fazenda Pasto Grande	40810800	Rio Paraopeba	Ribeirão Serra Azul	55,3	23K 558748 / 7778811	1981-2005	16
C-3	Iraí de Minas	60145000	Rio Paranaíba	Rio Bagagem	94,0	23K 241389 / 7900011	1966-2006	48

Quadro 2: Postos fluviométricos e pontos de interesse estudados.

Nota: * Período não necessariamente contínuo.

Ressalta-se que, apesar de a área de drenagem disponível na base de dados da ANA ter sido utilizada na seleção e agrupamento dos pontos de estudo, esta variável, considerada de extrema importância na estimativa de vazão mínima, foi recalculada para utilização durante as estimativas da vazão mínima. Desta forma, por exemplo, o ponto B-2, apesar de ter sua área recalculada via Geoprocessamento, foi mantido no Grupo B.

Para o cálculo da área e a delimitação das bacias em estudo foram utilizadas imagens aéreas georreferenciadas do *Google Earth Pro*, além de *shapes* de hidrografia e curvas de nível em formato digital⁴, os quais foram manuseados no Sistema de Informação Geográfica (SIG) *ArcGis® ArcMap™* 10.1.

Inicialmente, foi gerado o Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Consistido (MDTHC), o qual representa a distribuição espacial das cotas do terreno em células de tamanho pré-determinado, possibilitando sua análise, manipulação e avaliação.

Após a elaboração do MDTHC, utilizou-se o comando *Fill*, do ArcGis, visando eliminar as depressões espúrias, que são células cercadas por outras de maiores valores de elevação. Essas depressões interrompem o escoamento superficial da água e geram imperfeições no modelo, cujo escoamento deve ser direcionado a jusante da bacia de contribuição.

A direção do escoamento superficial foi calculada através do método determinístico de oito células vizinhas pela ferramenta *Flow Direction*. A ferramenta considera apenas uma das oito direções de escoamento para cada uma das células, sendo que toda a água de uma célula flui para a célula vizinha em direção à qual está a maior declividade encontrada na superfície do terreno.

O fluxo acumulado da água foi determinado utilizando-se a função *Flow Accumulation*, que se define pelo número de células que contribuem com fluxo d'água para cada célula. A delimitação da bacia foi realizada de forma automática pelo processamento da função *Watershed* do SIG utilizado, sendo esta, posteriormente, convertida para o formato vetorial.

⁴ Disponíveis em IGAM (2015b) e IJSN (2015).

A Figura 6 apresenta o mapa de localização das estações de estudo utilizadas. O Apêndice A traz os mapas de localização com destaque para as bacias hidrográficas, nos estados do Espírito Santo e Minas Gerais.

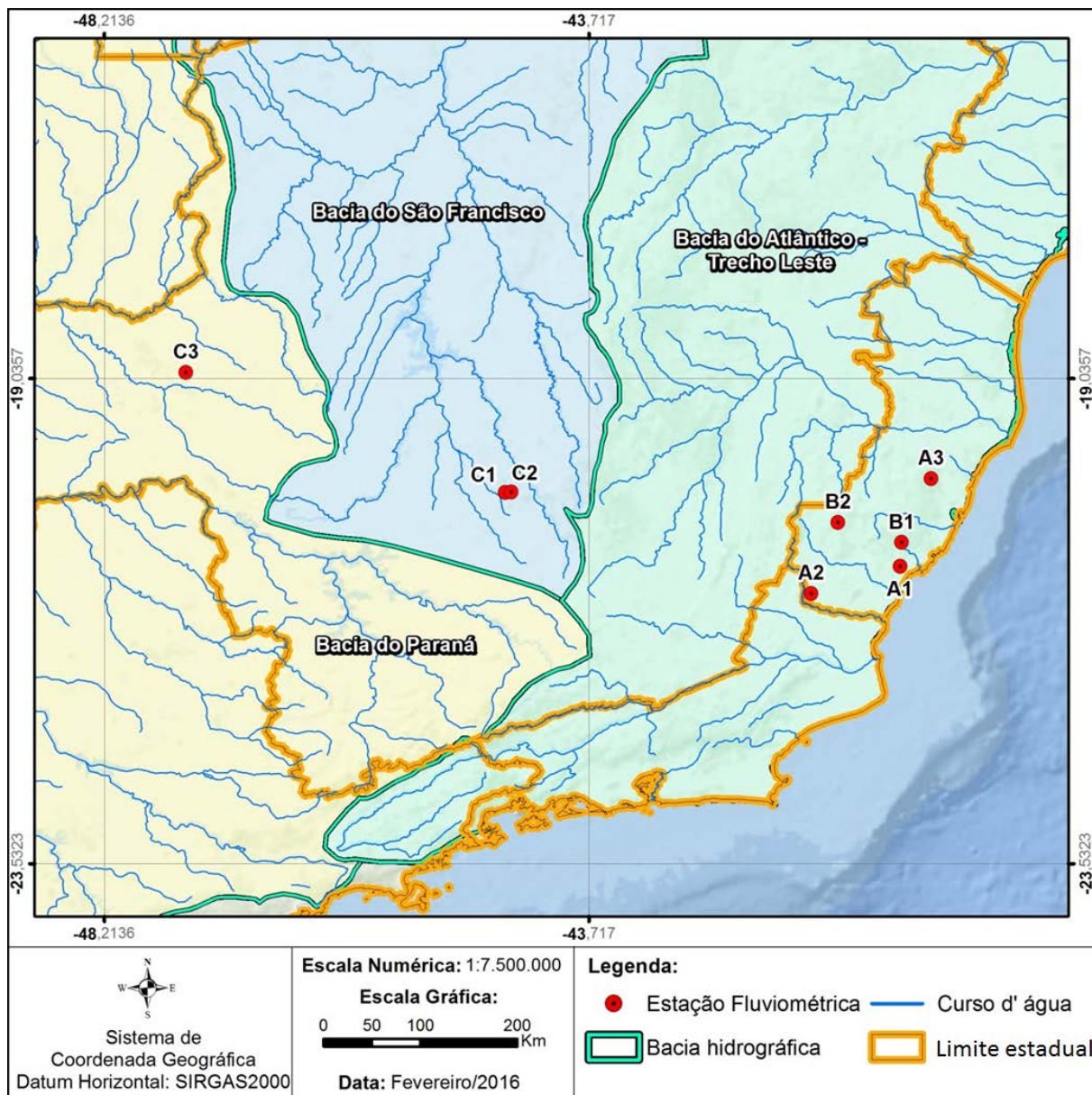


Figura 6: Mapa de localização dos postos fluviométricos em estudo.

Considerando as imagens de satélite disponibilizadas no *Google Earth Pro*, datadas de 2002, 2009 e 2010, e o Levantamento Aerofotogramétrico do Espírito Santo realizado pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA, 2007-2008) foi realizada breve análise do uso e ocupação do solo das bacias selecionadas.

De forma geral, os pontos de estudo estão localizados em bacias predominantemente rurais, com predomínio de áreas de pastagens, áreas cultivadas, fragmentos florestais isolados e pequenas aglomerações urbanas (municípios, distritos e localidades).

Em termos quantitativos, a bacia A-1 apresenta predomínio de pastagem em 46% de seu território. Áreas de mata nativa, cultivos de café e de banana também são frequentes, correspondendo, respectivamente, a 22%, 11% e 8%.

A bacia A-2 registra mais da metade de sua área (67%) em uso por pastagens e, ainda, 16% do território está coberto por mata nativa.

A bacia do ponto A-3 caracteriza-se por quantidade mais expressiva de áreas florestadas, sendo 58% do solo coberto por mata nativa. Em segundo plano, observam-se importantes áreas de cultivo de Eucalipto (14%) e Café (6%).

A bacia do ponto B-1 também possui mais da metade de seu território em mata nativa (57%). As pastagens (13%) e áreas de macega (9%) figuram em segundo plano.

Na bacia B-2, as áreas de pastagem e áreas de mata nativa são igualmente predominantes, ambos os tipos de solo cobrindo cerca de 25% seu território. Plantios de café e macegas correspondem, respectivamente, a 17% e 12% do uso do solo.

Em Minas Gerais, as bacias dos pontos C-1 e C-2 apresentam predomínio de áreas cultivadas e pastagens, com fragmentos florestais isolados e aglomerações urbanas (municípios, distritos e localidades). Já a bacia correspondente ao ponto C-3 encontra-se extremamente antropizada, sendo constituída quase que em sua totalidade por áreas cultivadas, inclusive com grande quantidade de sistemas de irrigação tipo pivô central.

4.2.3 Metodologia empregada para cada método

Para cada ponto de análise foram realizadas: a apropriação da vazão mínima com base nos registros de vazão obtidos junto à ANA; a estimativa da vazão via método Tradicional de Regionalização (equações e estudos utilizados pelos órgãos gestores e outros estudos disponíveis em literatura); e a estimativa da vazão pelo Método Silveira (1997), utilizando *software* desenvolvido pela ANA (ANA, 2009).

4.2.3.1 Determinação estatística da vazão mínima

A determinação das vazões mínimas de interesse foi realizada com o auxílio do *software* SisCAH 1.0.

Após o pré-processamento apresentado no item 4.2.2, as vazões mínimas Q_{90} ou $Q_{7,10}$ foram apropriadas para cada posto fluviométrico selecionado, conforme regulamentos próprios de cada órgão gestor estadual. As figuras a seguir (Figura 7 e Figura 8) apresentam tela do ambiente SisCAH 1.0 para análise das vazões mínimas de interesse. Foi utilizado o tipo de análise contínua da curva de permanência. As vazões foram sistematizadas e organizadas em tabelas.

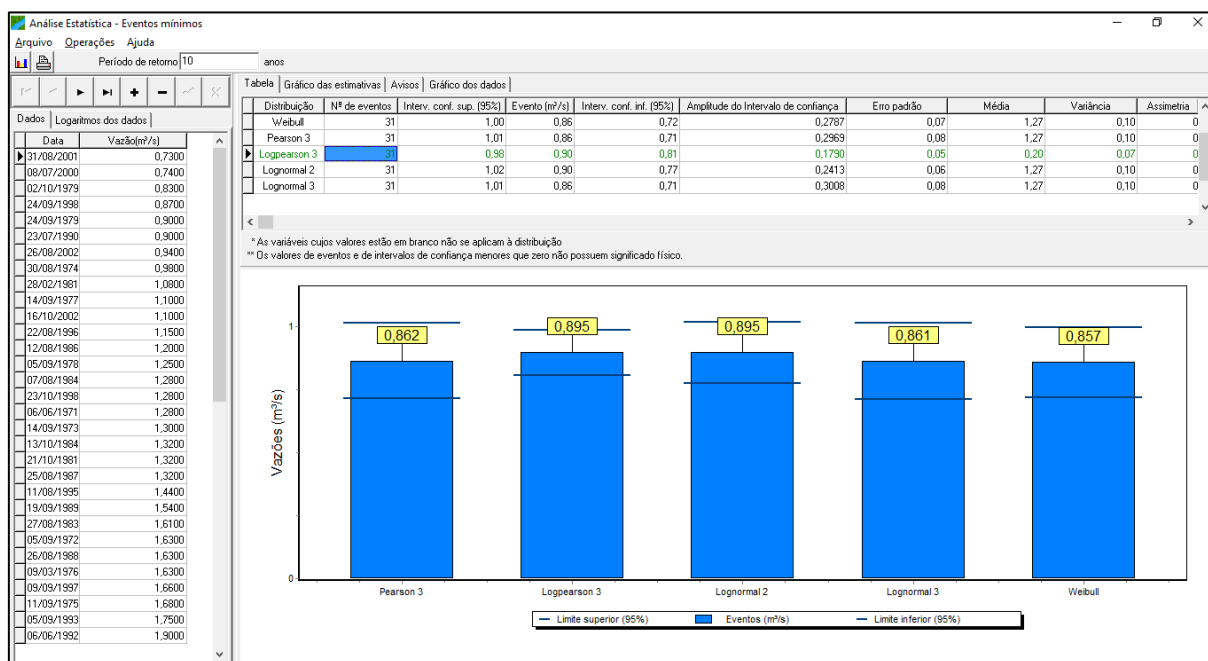


Figura 7: Tela de análise da vazão $Q_{7,10}$ no ambiente SisCAH 1.0.

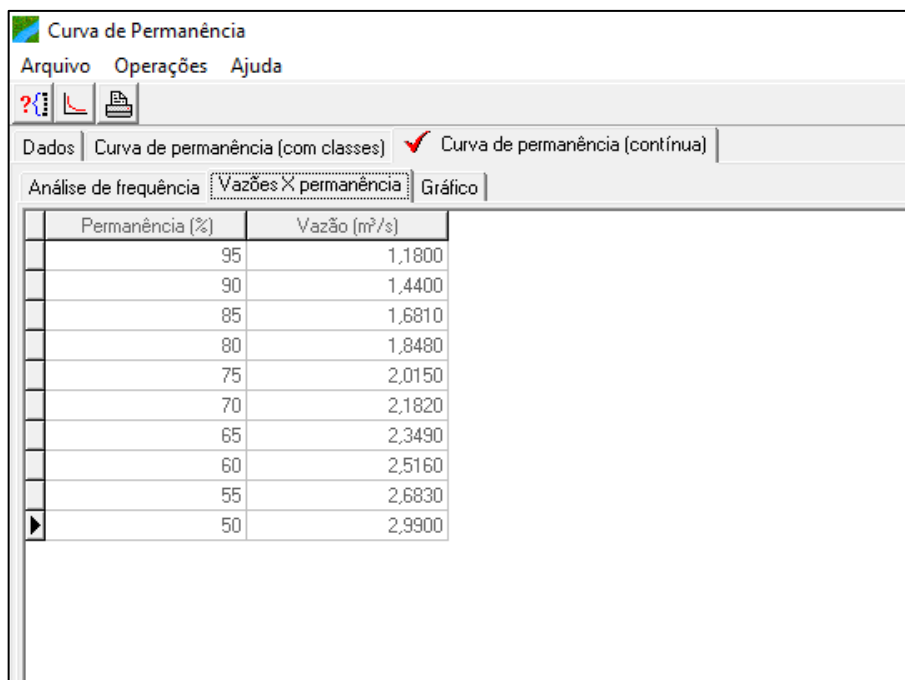


Figura 8: Tela de análise das vazões de permanência Q_{90} no ambiente SisCAH 1.0.

4.2.3.2 Estimativa via Regionalização e Órgão Gestor

A estimativa via Método Tradicional de Regionalização considerou estudos de referência e metodologia utilizados pelos órgãos gestores de recursos hídricos nos locais de estudo, a saber, Agerh (pontos localizados no Espírito Santo) e Igam (pontos localizados em Minas Gerais).

Foram também utilizadas equações regionais já construídas com base no Método Tradicional (ELETROBRAS, 1985a), disponíveis em literatura e estudos diversos. Neste trabalho, não foram estabelecidas novas equações a partir da manipulação de registros fluviométricos disponíveis para as estações, dada a escassez de informações que possibilitassem as análises de forma segura.

Em síntese, o Quadro 3 relaciona as formas utilizadas para a estimativa de vazões mínima, via Método Tradicional, ou utilizado pelos órgãos gestores. Os itens seguintes descrevem os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho para estimativa da vazão mínima.

No Espírito Santo	Em Minas Gerais	Outras Equações
I ³ Geo SEAMA (Disponível em http://www.meioambiente.es.gov.br/)	Atlas Digital das Águas de Minas Gerais (Disponível em http://www.atlasdasaguas.ufv.br/)	Euclides e outros (2007) Reis e outros (2013) Silva Júnior (2014) Silva (2014)

Quadro 3: Formas de estimativa de vazão mínima (via Método Tradicional) utilizadas.

4.2.3.2.1 Estado do Espírito Santo

No estado do Espírito Santo, nos rios de domínio estadual, a vazão de referência adotada nos processos de outorga de água superficial é a Q_{90} – vazão com permanência de 90%, ou seja, aquela que é igualada ou superada em 90% do tempo. Quanto aos critérios de outorga a Instrução Normativa nº 019/2005 (IEMA, 2005), em seu artigo 9º, estabelece que, de forma geral, “o somatório das vazões outorgadas fica limitado a 50% da vazão de referência do corpo de água”. O limite máximo por usuário fica restrito a 25% da Q_{90} (IEMA, 2005).

As análises dos pedidos de outorga utilizam *software* específico desenvolvido pela Subgerência de Geomática e Subgerência de Outorga do Iema, então órgão gestor de recursos hídricos no Espírito Santo⁵. Trata-se do Sistema de Controle de Balanço Hídrico (SCBH-ES) o qual permite a análise do comprometimento dos trechos de hidrografia com base na comparação entre a disponibilidade e a demanda pelo uso da água (IEMA, 2013).

O sistema congrega informações de disponibilidade hídrica e da vazão de referência (Q_{90}), por trecho de curso d'água, em cada ponto de interesse obtidas, a partir de técnicas/equações de regionalização, baseadas em dois estudos de referência, a saber: Projeto Águas Limpas (2009) e Seama (1996) (IEMA, 2013).

Considerando que o uso da regionalização restringe-se a bacias com características que correspondem ao intervalo de variação das variáveis explicativas das estações

⁵ O Iema (Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos) foi o órgão gestor de recursos hídricos, no Espírito Santo, até dezembro de 2013, quando da criação da Agerh (Agência Estadual de Recursos Hídricos).

utilizadas na concepção das equações, e que o uso inadequado tende a ocasionar superestimativa ou subestimativa das vazões, a Agerh procedeu e incorporou ao sistema alguns ajustes nas estimativas.

Para algumas regiões do estado, procedeu-se ao ajuste das estimativas, considerando o Coeficiente de Escoamento (CE), a fim de evitar superestimativas de vazões em regiões com pequenas áreas de drenagem. O CE representa a relação entre o volume escoado e o volume precipitado. Considerando as informações de cada estação, em cada região homogênea, a Agerh considera que o CE em qualquer trecho de hidrografia deve estar no intervalo de CEs das estações, estabelecendo, então, limites para as vazões mínimas (IEMA, 2011a).

Para outros locais não foram utilizadas equações dos estudos supracitados, sendo realizadas correlações com estações fluviométricas próximas à região. Isto decorre do fato de a estimativa da vazão via equação de regionalização retornar valores fisicamente impossíveis (vazão negativa). Neste caso, optou-se por utilizar o método de interpolação pelo inverso da distância para predizer o valor de Q_{90} na região, a partir da Precipitação Equivalente (P_{eq}) (IEMA, 2011b).

O banco de dados que contém as informações de cada trecho de hidrografia com seus valores de vazão de referência, estimados, está disponível em plataforma *Web*, via aplicativo I³Geo, com link disponível no site da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (Seama).

O I³Geo – Interface Integrada de Ferramentas de Geoprocessamento para Internet, desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em interface livre, tem sido utilizado por diversos órgãos governamentais federais e estaduais, incluindo a Agerh/Seama. O aplicativo permite a visualização e análise de dados geográficos pela Internet, armazenados em bases locais ou acessíveis por meio de *web services*.

Considerando sua utilização pelo órgão gestor capixaba, o aplicativo foi adotado para realização das estimativas das vazões mínimas para os pontos de estudo localizados em território capixaba, sendo obtidas as vazões mínimas Q_{90} . Ressalta-se que o sistema informa diversos outros parâmetros tais como: nome do curso

d'água, área de drenagem, vazão média, dados de precipitação, vazões específicas, dentre outros.

Realizado o acesso ao aplicativo (Figura 9), procede-se à seleção e acesso à camada de cursos d'água com vazão (Figura 10). A malha hídrica é projetada sob o mapa, devendo ser selecionado o ponto de interesse (clcando sobre o mapa, conforme Figura 11). Os dados são obtidos a partir da utilização da ferramenta “Informação”, sendo obtidas as vazões de interesse (Figura 12).



Figura 9: Acesso ao portal I³Geo, através do site da Seama/Iema.

Fonte: <http://www.meioambiente.es.gov.br/>.

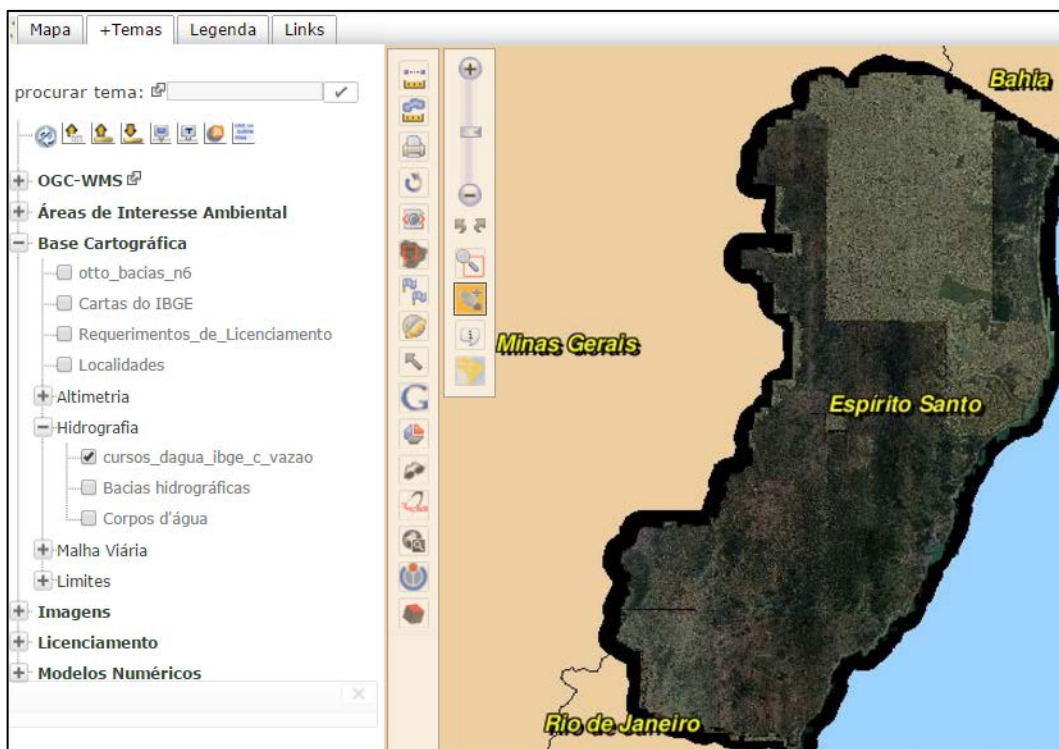


Figura 10: Acesso às camadas de cursos d'água com vazão na plataforma I³Geo.

Fonte: <<http://189.84.218.229/aplicmap/geral.htm>>.



Figura 11: Localização do ponto de interesse na plataforma I³Geo.

Fonte: <<http://189.84.218.229/aplicmap/geral.htm>>.

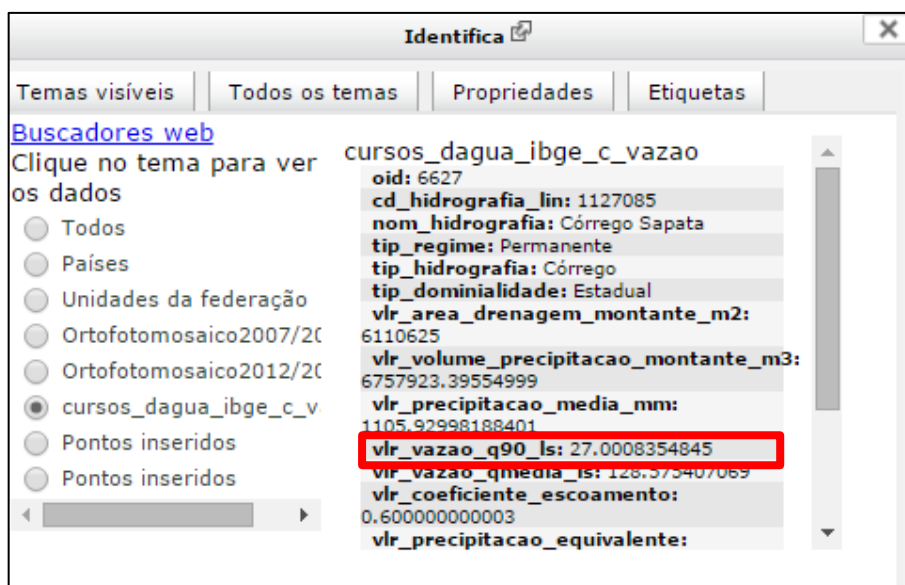


Figura 12: Utilização da ferramenta de identificação e obtenção das informações na plataforma I³Geo.

Fonte: <<http://189.84.218.229/aplicmap/geral.htm>>.

4.2.3.2.2 Estado de Minas Gerais

Em Minas Gerais, foi realizado contato via e-mail com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), órgão gestor de recursos hídricos no estado, a fim de levantar informações sobre a forma e métodos empregados na estimativa de vazão mínima no Estado.

Em rios de domínio do estado, a resolução conjunta Semad/Igam nº 1548, de 29 de março 2012 (SEMAD; IGAM, 2012), dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado. Esta norma estabelece a vazão $Q_{7,10}$ como vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial. O limite máximo outorgado por seção é de 50% da $Q_{7,10}$, garantindo que o restante flua a jusante de cada derivação. Em algumas bacias hidrográficas este limite é de 30%.

Para a estimativa das vazões mínimas, o Igam não restringe metodologia possibilitando ao empreendedor interessado no processo de outorga utilizar as diversas publicações técnicas existentes.

Neste trabalho, para a estimativa da vazão mínima nos pontos de estudo localizados no estado de Minas Gerais, utilizou-se um estudo de regionalização de vazão, via

método tradicional, aceito pelo órgão gestor mineiro, a saber, o “Atlas Digital das Águas de Minas Gerais”, disponível no sítio <<http://www.atlasdasaguas.ufv.br/>>.

O Atlas Digital das Águas de Minas é um sistema de informações sobre as águas superficiais do estado mineiro, desenvolvido no âmbito de um programa de pesquisa e desenvolvimento denominado HIDROTEC⁶, em parceria entre a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e duas secretarias de estado e órgãos vinculados – Secretaria de Estado da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Seapa) e a Fundação Rural Mineira (RuralMinas), a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad) e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam) (ATLAS, 2011).

A partir de estudo de regionalização de vazões estabelecido por Euclydes, Ferreira e Faria Filho (2007) e atualizações, o Atlas permite a estimativa de vazões para todo o Estado de Minas Gerais com base no método Tradicional. O sistema é disponibilizado em formato Web, permitindo o acesso à sua base de dados através de consulta espacial georreferenciada e consulta informativa, via Sistema Simplificado de Apoio à Gestão das Águas - SAGA⁷ (Figura 13).

⁶ Programa de pesquisa e desenvolvimento direcionado à geração e transferência de tecnologia de suporte para o planejamento, dimensionamento, manejo e gestão de projetos envolvendo os recursos hídricos, no Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.hidrotec.ufv.br/>>.

⁷ Sistema Simplificado de Apoio à Gestão das Águas – SAGA, disponível em <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/atlas_digital_das_aguas_de_minas_gerais.html>, permite a otimização do procedimento de estimativa dos valores das variáveis, funções e modelos hidrológicos obtidos nos estudos de regionalização hidrológica.

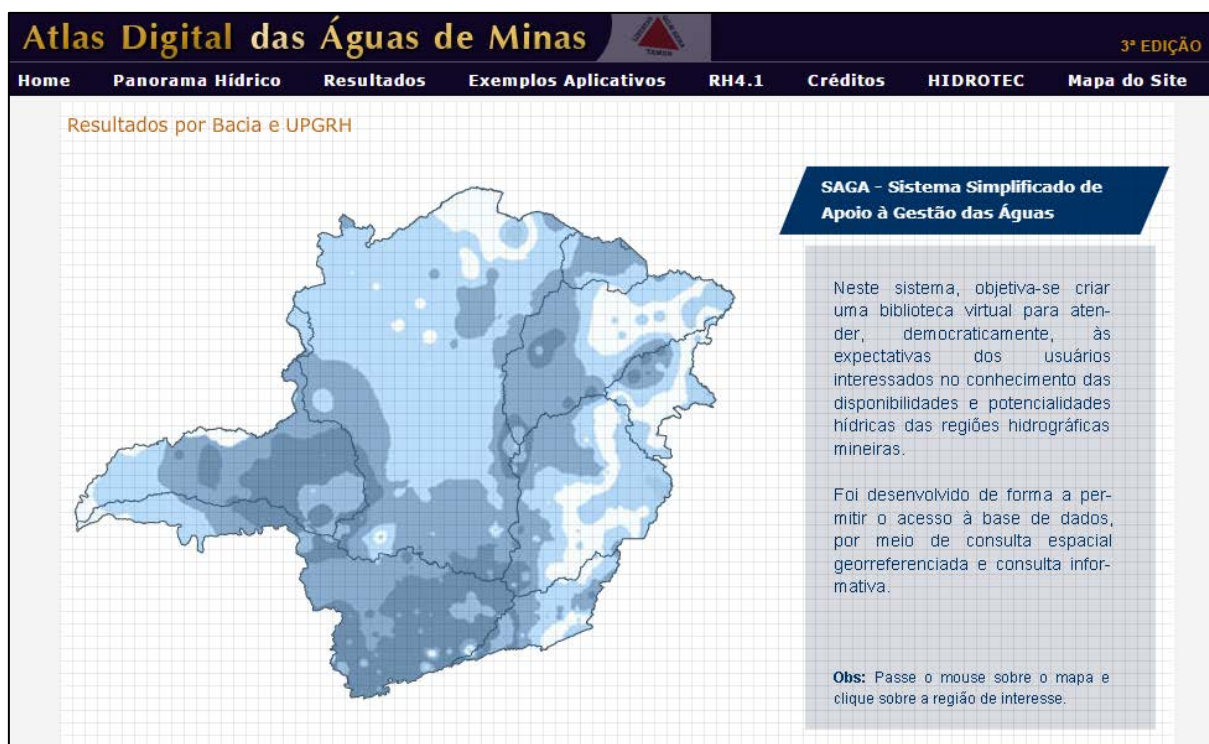


Figura 13: Tela inicial do SAGA.

Fonte: <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/atlas_digital_das_aguas_de_minas_gerais.html>.

Para cada bacia hidrográfica, o sistema possui diversos módulos para consulta espacial georreferenciada (rede hidrológica, modelos, imagens de satélite, etc.) ou consultas informativas (balanço hídrico, comportamento hidrológico, disponibilidade hídrica, etc.), os quais permitem obter as informações hidrológicas desejadas.

Neste trabalho, utilizou-se o módulo “Modelos hidrológicos ajustados por cursos d’água” para consulta espacial georreferenciada (Figura 14), no qual se indica a localização de cada ponto de estudo em um mapa e obtêm-se as equações regionais para cada curso d’água do estado (Figura 15).

Os modelos hidrológicos são válidos para o curso d’água para o qual foi ajustado e para seus afluentes. O valor da área de drenagem a montante do ponto de interesse é a única variável de entrada. A estimativa da área foi realizada via Geoprocessamento, conforme item 4.2.2.

Foram obtidas para cada curso d’água/ponto de interesse, no estado de Minas Gerais, as equações/modelos de regressão ajustados, em função da área de drenagem da bacia, para obtenção da $Q_{7,10}$. Do mesmo modo, foram utilizados os modelos regionais para a Q_{90} , a fim de incrementar as discussões. Finalmente, as

vazões foram obtidas por meio da aplicação dos modelos, sendo os resultados sistematizados e discutidos.

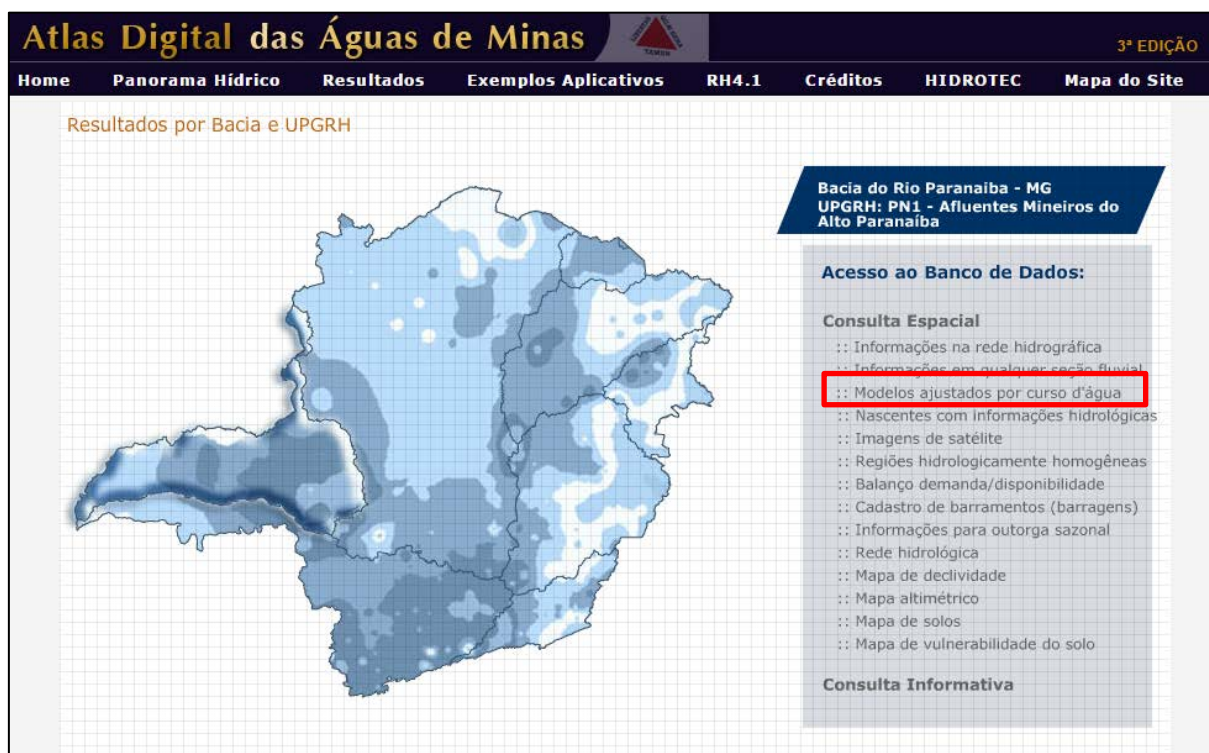


Figura 14: Acesso ao banco de dados do SAGA, para a bacia selecionada.

Fonte: <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/atlas_digital_das_aguas_de_minas_gerais.html>.

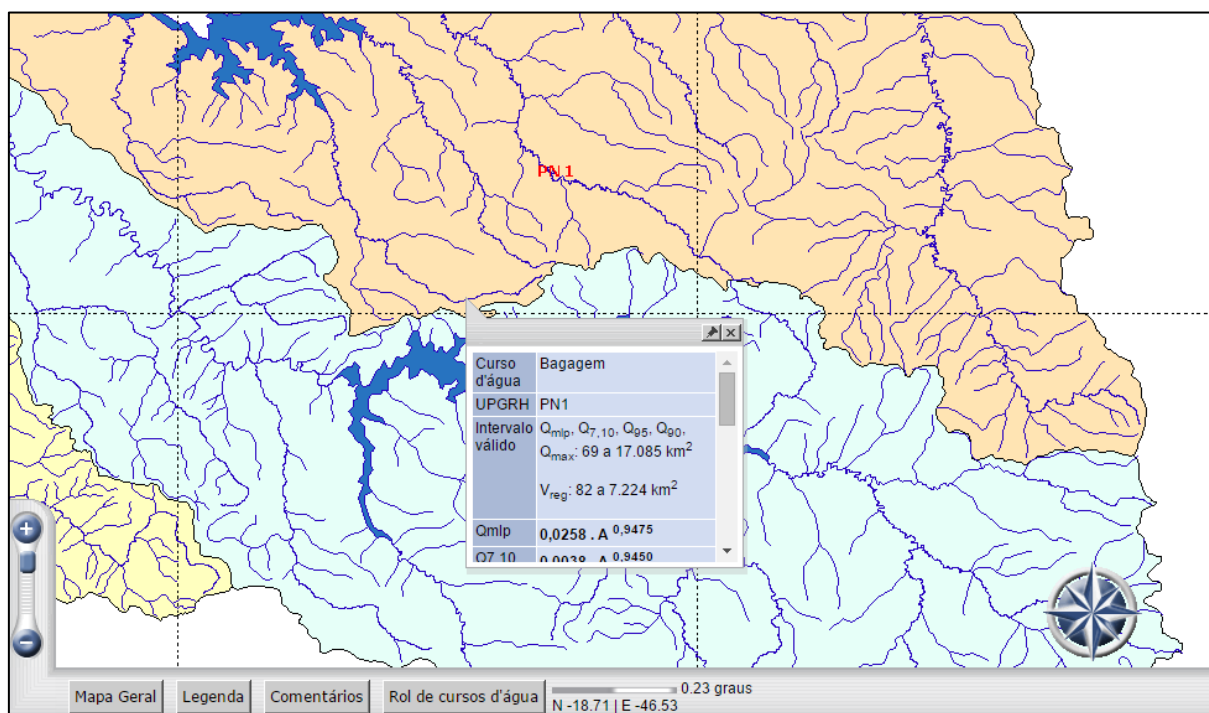


Figura 15: Indicação de curso d'água/seção fluvial e apresentação dos resultados.

Fonte: <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/atlas_digital_das_aguas_de_minas_gerais.html>.

As equações obtidas via Atlas Digital para cada ponto de estudo mineiro são apresentadas no Quadro 4. As áreas utilizadas para estimativa da vazão foram as apresentadas no Quadro 2.

Ponto	Posto Fluviométrico	Bacia Hidrográfica	Curso d'água	Modelos Hidrológicos	
				Intervalo Válido	Equações
C-1	Fazenda Laranjeiras	Rio Paraopeba (UPGRH SF03)	Córrego Mato Frio	259 a 8.571 km ²	$Q_{7,10} = 0,0042 \cdot A^{0,9500}$ $Q_{90} = 0,0107 \cdot A^{0,9174}$
C-2	Fazenda Pasto Grande	Rio Paraopeba (UPGRH SF03)	Ribeirão Serra Azul	259 a 8.571 km ²	$Q_{7,10} = 0,0042 \cdot A^{0,9500}$ $Q_{90} = 0,0107 \cdot A^{0,9174}$
C-3	Iraí de Minas	Rio Paranaíba (UPGRH PN01)	Rio Bagagem	69 a 17.085 km ²	$Q_{7,10} = 0,0038 \cdot A^{0,9450}$ $Q_{90} = 0,0055 \cdot A^{1,0078}$

Quadro 4: Modelos hidrológicos aplicáveis aos postos localizados no estado de Minas Gerais.

Fonte: Atlas Digital das Águas de Minas (2011).

Nota: UPGRH SF03 – Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos “Bacia do Rio São Francisco (Divisão 03), Bacia do Rio Paraopeba”.

UPGRH PN01 – Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos “Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba”. Nas equações, $Q_{7,10}$ é dada em m³/s, e A (área de drenagem) dada em km².

4.2.3.2.3 Outros estudos e equações

Foram também estimadas as vazões via equações obtidas em literatura acadêmica.

Para os pontos A-1 e B-1, localizados respectivamente nas bacias dos Rios Novo e Benevente, foi utilizada a Equação 9, desenvolvida por Reis e outros (2013) para a região dos rios Jucu, Benevente, Novo e Iconha, utilizando dados de cinco estações com área entre 147 e 1693 km². Obtiveram coeficiente de correlação de 0,96.

$$Q_{90} = 0,0382 \cdot A^{0,76}$$

Equação 9

Onde A é a área de drenagem, em km²; e Q_{90} é dada em m³/s.

Também desenvolvida por Reis e outros (2013), considerando dados de nove estações (192 a 4576km²), para a região homogênea compreendida pelo Rio Itapemirim, a Equação 10 foi utilizada para o ponto B-2. Para esta equação, os autores obtiveram coeficiente de correlação de 0,97.

$$Q_{90} = 0,0197.A^{0,84} \quad \text{Equação 10}$$

Onde A é a área de drenagem, em km²; e Q_{90} é dada em m³/s.

Para o ponto A-2, localizado na bacia do Rio Itabapoana, considerou-se a Equação 11 obtida por Silva Júnior (2014), utilizando sete estações na bacia do Rio Itabapoana (146 a 3781 km²), obtendo-se $R^2=0,97$.

$$Q_{90} = 0,0004.P^{1,815} \quad \text{Equação 11}$$

Onde P é o perímetro da bacia de drenagem, em km; e Q_{90} é dada em m³/s.

Para o ponto A-3, localizado na bacia do Rio Reis Magos, utilizou-se a Equação 12 proposta por Euclides e outros (2007) para a região de interesse, utilizando dados de oitos estações com área de drenagem entre 82km² a 1690km², com $R^2= 0,97$.

$$Q_{90} = 4,47.10^{-11}.A^{0,0484}.Pm^{2,5638} \quad \text{Equação 12}$$

Onde A é a área de drenagem, em km²; e Pm é a precipitação média anual na bacia, em mm; Q_{90} é dada em m³/s.

Para obtenção da precipitação média na bacia, foram utilizados dados das estações pluviométricas de Valsugana Velha - Montante (Código: 1940010) e Caldeirão (Código: 01940020). A média anual da bacia (1313,8mm) foi calculada via Método de Thiessen, considerando os registros consistidos disponíveis das duas estações, os quais totalizam 30 anos (1970 a 1999). As áreas de influência e as precipitações médias de cada posto são:

- Caldeirão: 83,2% da área de drenagem do ponto de estudo, com precipitação média de 1203,8 mm;
- Valsugana Velha: 16,8% da área de drenagem do ponto de estudo, com precipitação média de 1856,8 mm.

Para os pontos C-1, C-2 e C-3, foi utilizado estudo de regionalização proposto por Silva (2014), o qual compilou dados de 553 estações fluviométricas de Minas Gerais e proximidades. Para C-1 e C-2, localizados na bacia do Rio Paraopeba, afluente do Rio São Francisco, utilizaram-se a Equação 13 e a Equação 14, construída com dados de estações com área de drenagem variando entre 8 e 321.586 km².

$$Q_{7,10} = \frac{3,099 \cdot A^{0,968}}{1000} \quad \text{Equação 13}$$

$$Q_{90} = \frac{6,744 \cdot A^{0,936}}{1000} \quad \text{Equação 14}$$

Onde A é a área de drenagem, em km²; e $Q_{7,10}$ e Q_{90} são dadas em m³/s.

Já para o ponto C-3, localizados na bacia do Rio Paranaíba, utilizaram-se a Equação 15 e a Equação 16, construída com dados de estações com área de drenagem variando entre 34 e 71.945 km².

$$Q_{7,10} = \frac{3,042 \cdot A^{0,998}}{1000} \quad \text{Equação 15}$$

$$Q_{90} = \frac{5,337 \cdot A^{0,999}}{1000} \quad \text{Equação 16}$$

Novamente, A é a área de drenagem, em km²; e $Q_{7,10}$ e Q_{90} são dadas em m³/s.

4.2.3.3 Estimativa via Método Silveira

Para implementação do método Silveira foi utilizado *software* executável SISPB⁸ desenvolvido pela ANA, em linguagem Matlab®, que sistematiza a aplicação do método (ANA, 2009). O programa foi criado considerando o relativo sucesso da aplicação da metodologia em pequenos corpos d'água no Distrito Federal, visando atender uma crescente demanda da ANA e, eventualmente, de órgãos gestores estaduais. Portanto, conta com uma interface gráfica amigável, mesmo para técnicos que não possuem familiaridade com modelos chuva-vazão (ANA, 2009).

O método foi analisado qualitativamente, com resultados apresentados no item 5.1. A metodologia para implementação e avaliação quantitativa do método é apresentada a seguir, com resultados sendo mostrados no item 5.2.

Em suma, o método baseia-se no comportamento da bacia durante a estiagem, levando em consideração a depleção do hidrograma como uma característica peculiar. Em pequenas bacias, a precipitação ocorrida gera um pico rápido de cheia, e o período mais longo do hidrograma é composto pelas recessões. Assim, caracterizando o período de estiagem a partir de alguns registros de vazão, calibra-se um modelo chuva-vazão, e gera-se a série de vazões para estes períodos, obtendo-se vazões de referência.

A Figura 16 apresenta a tela inicial do sistema, com indicação das variáveis a serem inseridas. Primeiramente, deve ser realizado o preenchimento dos campos de área de drenagem, vazões medidas e, respectivas datas de ocorrência.

A área de drenagem para todas as estações foi obtida via Geoprocessamento, conforme mostrado no item 4.2.2.

⁸ Sistema de estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias, baseado em Silveira, Tucci e Silveira (1998), desenvolvido por Bruno Collischonn, GEREG/SOF/ANA.

Figura 16: Tela inicial do SISPB, com campos para inserção dos dados iniciais.

4.2.3.3.1 Determinação do período de estiagem e das vazões utilizadas

O sistema requer a inserção de três medições de vazão. Numa situação prática real, as vazões medidas no ponto de interesse têm por objetivo caracterizar o período de estiagem na região/bacia, a fim de embasar a modelagem do seu hidrograma.

Conforme proposto por Silveira, Tucci e Silveira (1998), a seleção dos períodos de estiagem para cada pequena bacia deve considerar a ocorrência de período de ausência de chuva, ou real estiagem na região/manancial estudado.

Neste trabalho, visando simular uma utilização real do método, foram selecionados três registros a partir da série histórica disponível no HidroWeb/ANA, para cada ponto de estudo.

Foram analisados e comparados os hidrogramas de cada ano da série histórica, de cada ponto de estudo, visando identificar um ano que pudesse ser considerado típico e com decaimento no período seco bem visível e marcado. Para cada estação foi escolhido um ano, preferencialmente dentre os cinco últimos disponíveis da série histórica de vazão.

Escolhido o ano, e considerando que, de forma geral, o período seco na região Sudeste compreende os meses de abril a setembro (IGAM, 2015), evitou-se a utilização dos dados destes meses, os quais podem caracterizar momentos de transição entre estações chuvosa-seca ou chuvosa-seca.

A identificação da estiagem considerou a análise visual do hidrograma, juntamente com a série de precipitação média para cada bacia, calculadas pelo Método de Thiessen, utilizando dados disponíveis de postos pluviométricos com influência na bacia. No Quadro 5 são apresentadas as estações pluviométricas utilizadas para cada ponto de interesse, com séries disponíveis na base do HidroWeb/ANA.

Ponto de Interesse	Postos Pluviométricos (Código)
A-1 Iconha Montante	Duas Barras (02040017) Iconha Montante (02040005)
A-2 São José do Calçado	São José do Calçado (02141016) Guaçuí (02041001)
A-3 Valsugana Velha Montante	Caldeirão (01940020) Valsugana Velha Montante (01940010)
B-1 Matilde	Matilde (DNOS) (02040011) Vila Nova Maravilha (02040020)
B-2 Usina Fortaleza	Usina Fortaleza (02041018)
C-1 Fazenda Laranjeiras	Calambau (02044020) Fazenda Laranjeiras - Jusante (02044041)
C-2 Fazenda Pasto Grande	Calambau (02044020) Fazenda Coqueiros (02044026) Fazenda Laranjeiras - Jusante (02044041)
C-3 Iraí de Minas	Iraí de Minas (01847010)

Quadro 5: Postos pluviométricos utilizados na análise do período de estiagem para o Método Silveira.

Analisou-se o hidrograma e a série de precipitação média, selecionando períodos de estiagem constituídos a partir de um número mínimo de 21 dias antecedentes e consecutivos preferencialmente sem chuva, permitindo-se a ocorrência distribuída de, no máximo 15 mm, desde que não impactassem o hidrograma e/ou descaracterizassem o período de estiagem.

Considerando o período de 21 dias, as três medições utilizadas foram selecionadas, respectivamente, no 7º, 14º e 21º dia, isto é, com intervalo de sete dias entre as

medições. A proposição do método por Silveira (1997) considerou intervalo entre as medições de dois dias.

Ressalta-se que, em uma situação real, o gestor deve conhecer o regime de chuvas da região, permitindo uma melhor definição dos intervalos entre as medições a fim de caracterizar o período de estiagem. No entanto, não é possível conhecer exatamente qual será a duração exata da seca. Intervalos de tempo pequeno entre as medições podem não caracterizar suficientemente o deplecionamento fluvial no período seco e trazer influências de erros de medição. Grandes intervalos podem ser inviabilizados, dada a possibilidade de ocorrência de uma precipitação que descaracterize a estiagem (SILVEIRA, 1997).

A escolha do período de estiagem pode ser facilitada dado que o avaliador pode inspecionar *in loco* a caracterização da estiagem, por meio de consultas a moradores locais sobre a ocorrência de chuvas localizadas na área, nos dias anteriores aos trabalhos de campo (SILVEIRA, 1997).

No Quadro 6 são apresentados os valores de vazão utilizados na simulação pelo Método Silveira, para cada ponto de análise.

Ponto	1ª medição		2ª medição		3ª medição	
	Data	Vazão (l/s)	Data	Vazão (l/s)	Data	Vazão (l/s)
A-1	14/05/2000	2850,00	21/05/2000	2349,00	28/05/2000	1848,00
A-2	23/05/2003	1117,40	30/05/2003	1055,60	06/06/2003	995,50
A-3	11/05/2000	885,13	18/05/2000	784,78	25/05/2000	736,79
B-1	12/06/2002	3523,00	19/06/2002	3325,77	26/06/2002	3229,11
B-2	04/06/2002	2308,70	11/06/2002	1964,20	18/06/2002	1898,90
C-1	30/06/2005	94,80	07/07/2005	85,80	14/07/2005	77,30
C-2	28/07/2004	226,73	04/08/2004	192,31	11/08/2004	176,93
C-3	20/07/2003	1272,00	27/07/2003	1209,00	03/08/2003	1091,00

Quadro 6: Valores de vazão utilizados na simulação via Método Silveira.

4.2.3.3.2 *Inserção dos dados de precipitação*

Em seguida devem ser inseridos os dados de precipitação média na bacia, a partir do menu “Dados”, opção “Abrir Chuva”. O sistema permite a inserção da precipitação via três formas (Figura 17):

- Importação de série de chuvas diárias, em formato MS Excel®;
- Leitura direta da chuva de arquivos de série histórica obtidos no portal HidroWeb/ANA;
- Leitura das estimativas de precipitação do satélite TRMM⁹, disponível na Internet.

Buscaram-se estações pluviométricas nas proximidades das bacias em estudo, que pudessem ser utilizadas para obtenção da série de chuva média na bacia. No entanto, não foram obtidas estações pluviométricas com qualidade e quantidade de dados suficientes (séries históricas longas). Por este motivo, optou-se por utilizar a precipitação estimada via satélite TRMM, considerando a facilidade de utilização e a importação direta no sistema desenvolvido pela ANA.

Para a estimativa da precipitação, o sistema exige a inserção de coordenadas de um retângulo envolvente à bacia, a fim de buscar as informações diretamente no sítio da Nasa. Ao se informar o retângulo envolvente à bacia, o sistema busca a precipitação média sobre este retângulo, considerando seu cruzamento sobre os pixels do TRMM (ANA, 2009).

Os dados do TRMM vêm sendo crescentemente utilizados, tendo sido testados e recomendados pela ANA para análise de disponibilidade hídrica e utilização no modelo chuva-vazão, por darem resultados similares aos dados convencionais (ANA, 2009; 2012).

⁹ O Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) é uma missão conjunta entre a Nasa e a Agência de Aeroespacial do Japão (JAXA) para estudar a precipitação nas regiões tropicais e subtropicais do planeta. O satélite TRMM foi lançado em 1997 e terminou a coleta de dados em abril de 2015. Disponível em: <<http://trmm.gsfc.nasa.gov>>.

Para ANA (2009), devido à dificuldade de obtenção de séries de chuva com dados recentes, coincidentes com as medições de vazão, o uso de estimativas de precipitação por satélite é uma alternativa confiável como dado de entrada do modelo chuva-vazão, sobretudo, em regiões tropicais.

Por fim, inseriu-se a série com a precipitação média das bacias, no aplicativo SISPB, a fim de realizar a modelagem do método Silveira. A Figura 17 mostra o menu de inserção de dados de chuva, bem como a plotagem destes no gráfico superior.

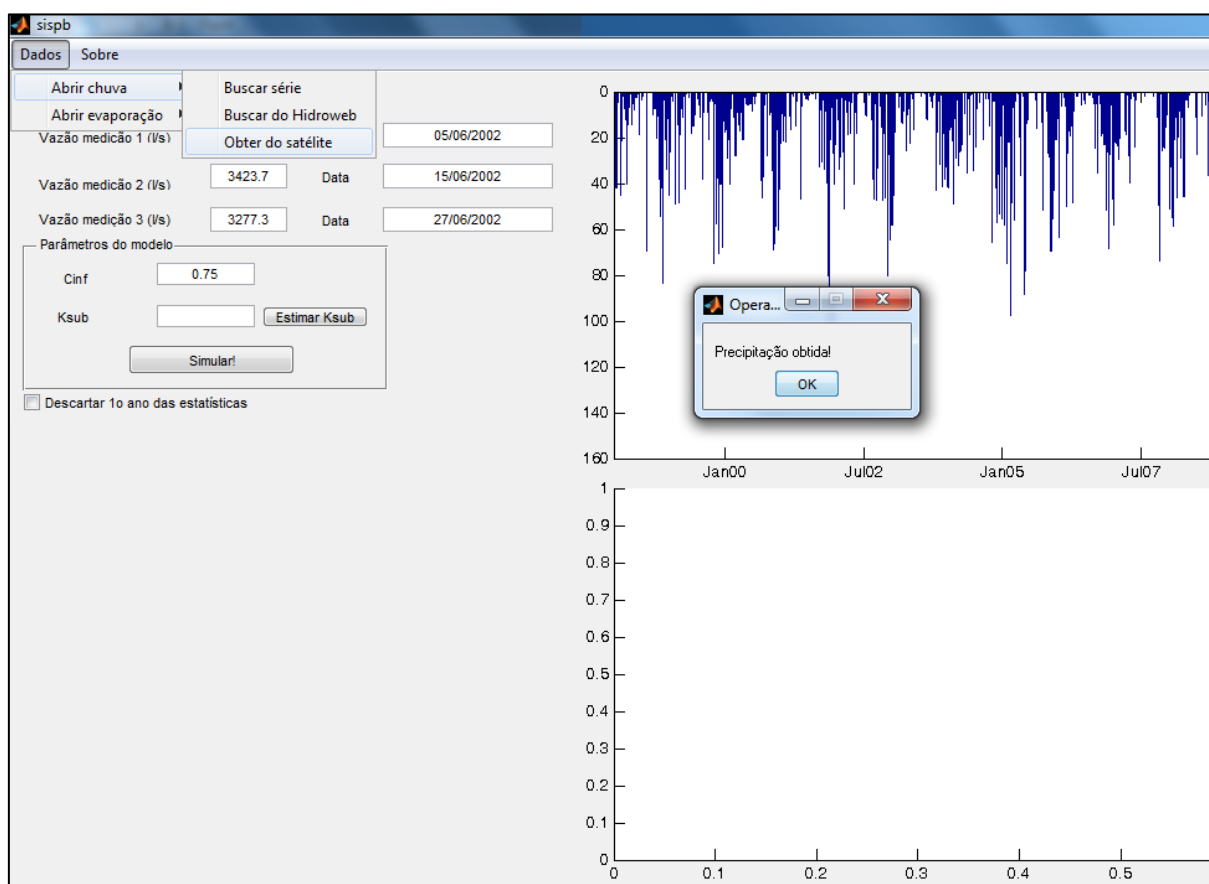


Figura 17: Inserção e plotagem dos dados de precipitação.

4.2.3.3.3 Inserção dos dados de evapotranspiração e coeficiente de cultura (K_c)

Da mesma forma que para precipitação, os dados de evapotranspiração real média da bacia foram inseridos no sistema via Menu "Dados", "Abrir Evapotranspiração" (Figura 18), o qual permite a inserção de dados a partir de duas fontes (ANA, 2009):

- Série de dados em formato Microsoft Excel;

- Evapotranspiração média mensal, a partir da seleção de uma localidade próxima que possua dados de evapotranspiração de referência do FAOCLIM¹⁰. Neste caso, deve-se informar ainda o coeficiente de cultivo (K_c) médio na bacia, em função do uso do solo preponderante, para conversão em Evapotranspiração da Cultura. Há ainda a possibilidade de inserção da série de evapotranspiração de referência média mensal diretamente na interface do Sistema.

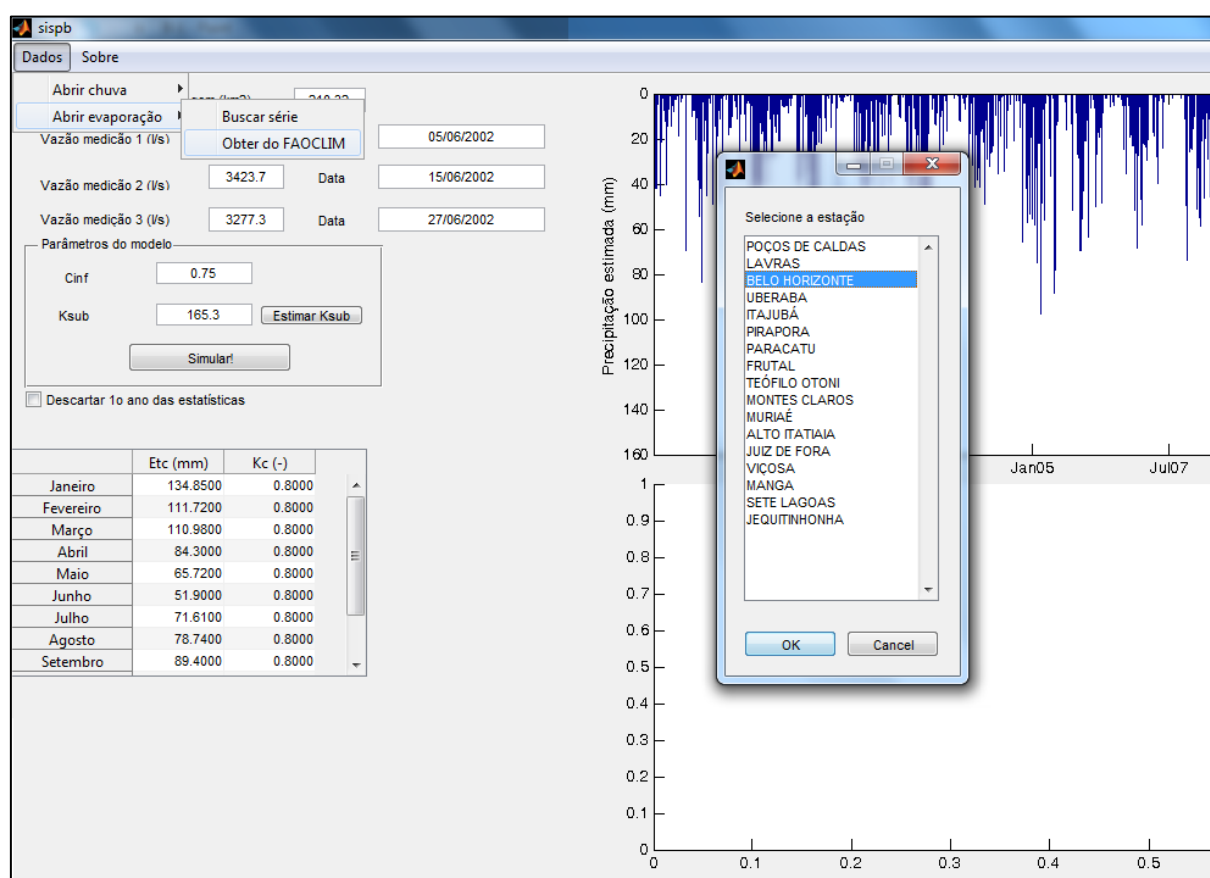


Figura 18: Exemplo de inserção da evapotranspiração no SISPB.

Para os pontos localizados no território capixaba, foram utilizadas informações disponíveis disponibilizadas pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper). O órgão estimou os valores de evapotranspiração potencial (ETP) mensal, em mm/dia, utilizando dados

¹⁰ O FAOCLIM é um banco de dados agroclimático mundial com quase 32 mil estações de até 14 parâmetros agroclimáticos observados e calculados, dentre outros as médias mensais de evapotranspiração de referência (Eto). Os dados de ETo fornecidos pela base foram estimados pelo método Penman/Monthieith. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/climpag/pub/en1102_en.asp>.

climatológicos mensais calculados com base na série de dados das estações meteorológicas da Rede Integrada de Observações Meteorológicas de Superfície (INPE, INMET e Incaper), para 15 estações em operação no Estado, no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2013 (14 anos).

Os valores dos pontos foram interpolados, e a média dos valores de cada bacia foi extraída. Os valores de evapotranspiração de referência potencial média, assim obtidos, foram inseridos diretamente na interface do Sistema SISPB. A Tabela 1 apresenta os valores utilizados.

Tabela 1: Séries de evapotranspiração potencial média mensal (mm/dia) utilizadas nas simulações do Método Silveira, para os pontos localizados no Espírito Santo.

Evapotranspiração Potencial Média Mensal (mm/dia)					
Mês	A-1 Iconha Montante	A-2 São José do Calçado	A-3 Valsugana Velha Montante	B-1 Matilde	B-2 Usina Fortaleza
Janeiro	99,9	104,2	93,6	88,8	89,1
Fevereiro	90,8	96,2	82,3	78,6	79,6
Março	92,3	93,8	84,2	80,0	79,5
Abril	72,8	72,8	66,9	63,3	62,1
Maio	53,8	52,5	51,5	47,9	46,3
Junho	43,3	42,4	40,9	37,7	36,5
Julho	43,1	42,7	39,6	37,0	35,9
Agosto	49,7	51,5	44,1	42,0	42,1
Setembro	58,3	61,0	52,9	50,9	51,5
Outubro	76,6	82,0	63,6	66,4	68,3
Novembro	79,6	84,4	76,2	72,4	73,6
Dezembro	96,2	100,7	91,0	86,6	87,2

Fonte: Incaper.

Para conversão da evapotranspiração de referência, foram considerados os usos preponderantes nas bacias. Para o Estado do Espírito Santo, utilizando levantamento de uso e ocupação do solo do IEMA realizado entre os anos 2007 e 2008 (IEMA, 2007-2008), o Kc médio da bacia foi estimado a partir da média

ponderada pela área dos coeficientes de cultura de cada tipo de uso, recomendados pela FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), disponíveis em Allen e outros (1998) (Quadro 7). Algumas tipologias de uso e ocupação do solo foram desconsideradas na análise (ex. afloramento rochoso, áreas edificadas, entre outros). Para outras, o Kc foi estimado ou adaptado.

Classe de uso e ocupação*	Kc inicial	Kc médio	Kc final	Média Considerada	Observação
Afloramento Rochoso	-	-	-	-	Desconsiderado
Área edificada	-	-	-	-	Desconsiderado
Banana	0,75	1,15	1,05	0,98	-
Brejo	0,90	1,20	0,70	0,93	Adaptado de solo úmido
Café	0,98	1,03	1,03	1,01	-
Campo rupestre	-	0,90	0,80	0,85	Adaptado de pastagem
Cana de Açúcar	0,40	1,25	0,75	0,80	-
Coco da Baía	0,95	1,00	1,00	0,98	Adaptado de palmáceas
Eucalipto	1,00	1,00	1,00	1,00	Adaptado de coníferas
Extração Mineral	-	-	-	-	Desconsiderado
Macega	-	0,90	0,80	0,85	Adaptado de pastagem
Massa d'água	-	-	-	-	Desconsiderado
Mata Nativa	0,95	1,00	1,00	0,98	Adaptado de seringueira
Mata Nativa em Estágio Inicial de Regeneração	0,95	1,00	1,00	0,98	Adaptado de seringueira
Outros cultivos permanentes	0,71	0,68	0,72	0,70	Adaptado de citrus considerando porte
Outros cultivos temporários	0,50	1,12	0,88	0,83	Adaptado, média de tomate, feijão e milho
Pastagem	-	0,90	0,80	0,85	-
Pinus	1,00	1,00	1,00	1,00	Adaptado de coníferas
Solo exposto	-	-	-	-	Desconsiderado
Outros	-	-	-	-	Desconsiderado

Quadro 7: Coeficientes de cultura recomendados pela FAO e adaptações.

Fonte: Adaptado de Allen e outros (1998).

Nota: * Classes de uso e ocupação do solo conforme IEMA (2015).

Já para os pontos mineiros, pela ausência de dados, optou-se pela utilização do FAOCLIM. Para os pontos C-1 e C-2, foi atribuído o vetor de evapotranspiração de referência de Belo Horizonte, localizado a aproximadamente 60 km de distância. Já para o ponto C-3, foram utilizados os dados de Uberaba, cerca 100 km de distância da bacia.

Quanto ao coeficiente de cultura, considerando identificação do uso do solo predominante nas bacias (interpretação de imagens do *Google Earth Pro* e outras informações), para C-1 e C-2 foi adotado um coeficiente cultural (K_c) de 0,85, correspondente a campos e pastagens. Já para o ponto C-3 foi considerando o K_c igual a 0,96, adaptado a partir dos valores dos coeficientes recomendados pela FAO para milho e soja.

O Quadro 8 apresenta o coeficiente de cultura médio calculado/adotado para cada bacia em estudo.

Ponto de Estudo	K_c Médio da Bacia
A-1	0,91
A-2	0,89
A-3	0,96
B-1	0,95
B-2	0,93
C-1	0,85
C-2	0,85
C-3	0,96

Quadro 8: Coeficientes de cultura médios utilizados na modelagem do método Silveira.

4.2.3.3.4 Ajuste do modelo

Realizadas as inserções das informações acima, procede-se ao ajuste/calibração do modelo, que consiste em estimar o valor do coeficiente de infiltração (C_{inf}) e do coeficiente de recessão (K_{sub}). O valor de K_{sub} é estimado a partir das medições de vazão inseridas inicialmente e, a partir de então, varia-se o valor do C_{inf} objetivando

a minimização do erro padrão do modelo. O erro padrão é dado pela raiz da soma dos quadrados das diferenças entre vazão observada e vazão simulada (ANA, 2012).

De acordo com ANA (2009), considerando que o modelo chuva-vazão é muito simples, a sensibilidade a estes parâmetros é bastante evidente. O C_{inf} relaciona-se aos volumes escoados, de forma que coeficientes maiores geram vazões de base maiores. Já o K_{sub} diz respeito à forma de recessão dos hidrogramas, de forma que valores mais altos refletem um esvaziamento mais lento e, portanto, uma recessão mais suave.

Assim, iterativamente, variando-se os parâmetros e clicando em "Simular", o sistema ajusta o modelo e plota o hidrograma, com destaque para o período com vazões medidas. O erro padrão deve ser minimizado. Os pontos medidos também são plotados, mostrando graficamente a qualidade do ajuste, isto é, o quão bem o modelo está representando a hidrologia local (ANA, 2009).

Ao fim do ajuste (Figura 19), têm-se as vazões de interesse estimadas.

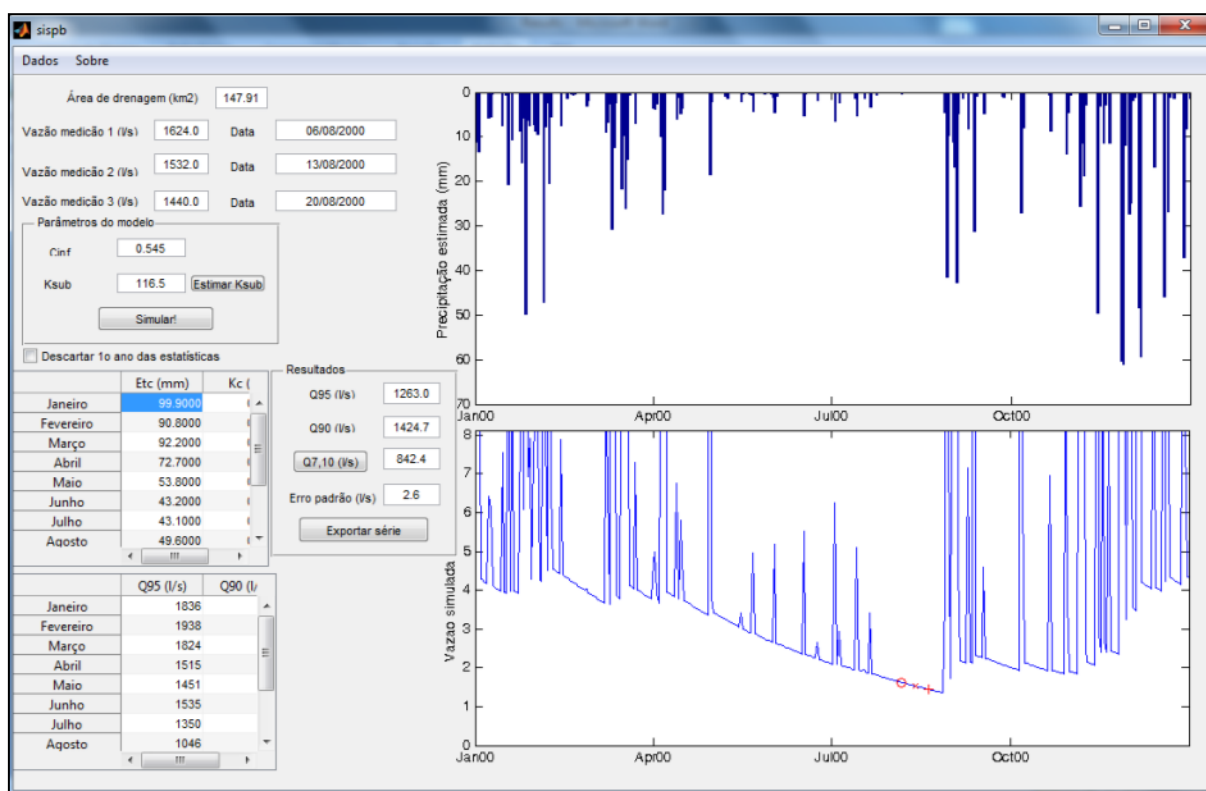


Figura 19: Tela de resultados do SISPB.

4.2.4 Comparação dos métodos

De posse das vazões mínimas obtidas a partir da análise da série histórica de cada um dos pontos de estudo, e das estimativas de vazão conforme itens anteriores, foi realizada a comparação dos resultados visando verificar o desempenho das metodologias.

Os resultados estimados foram comparados e avaliados quanto à divergência em relação aos valores observados (série histórica), ponto-a-ponto e por tipologia de estimativa, buscando subsidiar a proposição de melhorias e diretrizes na execução de estudos hidrológicos de determinação de vazões mínimas de referência para outorga de recursos hídricos.

Neste trabalho, os resultados foram comparados em termos do erro relativo (ER), índice largamente empregado em literatura para comparação entre valores medidos e estimados por modelos (RIBEIRO; MARQUES; SILVA, 2005; AMORIM; OLIVEIRA NETTO; MENDIONDO, 2005; SILVA; MARQUES; LEMOS, 2009; MOREIRA, 2010), sendo representado pela diferença relativa entre tais medidas, conforme expresso na Equação 17.

$$ER = 100 \cdot \left(\frac{Q_{obs} - Q_{est}}{Q_{obs}} \right) \quad \text{Equação 17}$$

Em que:

ER é o erro relativo, em porcentagem;

Q_{obs} é a vazão observada no ponto de interesse, calculada via série histórica (SisCAH), em m³/s; e

Q_{est} é a vazão estimada via métodos diversos, em m³/s.

4.3 PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA O APERFEIÇOAMENTO DA DETERMINAÇÃO DE VAZÃO EM PEQUENAS BACIAS

Considerando a revisão de literatura e os resultados obtidos a partir da análise qualitativa e quantitativa dos métodos, foram propostas recomendações e diretrizes para a melhoria dos processos de estimativa da vazão mínima, a fim de se contribuir, conseqüentemente, para a melhor gestão das águas em nível de pequena bacia.

De forma geral, os direcionamentos foram feitos aos órgãos gestores, os quais possuem competência para atuação na melhoria da gestão de águas, sendo indicados, apresentados e sugeridos pontos relacionados, dentre outros assuntos:

- À necessidade de se aumentar disponibilidade de informações hidrológicas, por meio do monitoramento consistente das variáveis;
- À necessidade de se desenvolver novos métodos ou aperfeiçoar os existentes, especificamente visando atender às demandas das pequenas bacias;
- À importância de intensificar o uso de métodos que utilizam critérios ecológicos e holísticos na determinação/estimativa da vazão;
- À aplicação do Método Silveira.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE QUALITATIVA DOS MÉTODOS

Um dos maiores desafios para a implementação de qualquer método de estimativa de vazão está relacionado à obtenção e tratamento dos dados de entrada ou informações históricas disponíveis. Este aspecto é importante aos diversos métodos e tende a influenciar as estimativas em maior ou menor quantidade, a depender da quantidade e qualidade dos dados/informações disponíveis.

Erros associados à obtenção destas informações, tais como erros de observação e transcrição, medições inadequadas, erros humanos, erros de precisão do aparelho e na manipulação dos dados observados são igualmente impactantes.

Uma informação de grande importância é a área de drenagem. Este parâmetro físico é utilizado em diversos métodos, sendo em alguns o único parâmetro preditor. A sua determinação tende a ser mais ou menos confiável em função da forma como é obtida. Durante a execução desta pesquisa, notou-se que os valores de áreas de drenagem de postos fluviométricos, disponíveis nas bases de dados da ANA, carecem de melhor determinação.

Tais valores, em muitas bacias, se contrapõem aos obtidos com auxílio de SIG. A propósito, com o advento da utilização destas ferramentas, tem-se aperfeiçoado a delimitação das bacias. Ademais, as coordenadas geográficas das estações, em muitos casos, não coincidem com sua real localização, localizando-as fora da malha hídrica e gerando valores de áreas incoerentes (OLIVEIRA, 2008). Este fato foi comprovado em algumas estações utilizadas neste trabalho.

Outro fator que agrega dificuldades gerais à estimativa de vazão mínima refere-se às alterações antrópicas ocorridas no regime hidrológico natural dos cursos d'água. Em muitas bacias hidrográficas, independente do seu tamanho, possuem regime impactado seja pela grande utilização consuntiva da água (ex. transposição de vazões, perímetros industriais ou de irrigação, etc.), seja pela construção de barramentos.

Os barramentos, em geral, promovem a regularização das vazões naturais, modificando sua distribuição espacial e temporal, e podendo interferir no ajuste das equações de regionalização e na estimativa/determinação das vazões.

A seguir é apresentada análise qualitativa, baseadas em literatura, considerando fatores tais como a complexidade de aplicação/utilização, as variáveis envolvidas, dentre outros fatores. As análises consideraram a concepção dos métodos, visando identificar a adequação/usabilidade para escala de pequenas e microbacias, destacando fatores que favorecem ou não sua aplicação.

5.1.1 Método Tradicional de Regionalização

A regionalização tradicional é um dos métodos mais difundidos e largamente utilizados pelos órgãos gestores brasileiros para a estimativa de vazões de referência para fins de outorga de recursos hídricos. Conforme ANA (2007a), não há levantamento atualizado e informações padronizadas quanto à forma/método de estimativa da disponibilidade hídrica por parte dos órgãos estaduais, mas, em geral, são utilizados estudos de regionalização, via forma tradicional.

É um método bastante confiável em médias e grandes bacias, suprimindo satisfatoriamente a carência de informações hidrológicas. Para Amorim, Oliveira Netto e Mendiondo (2005), o método é uma ferramenta de suma importância no gerenciamento de recursos hídricos.

Os estudos de regionalização consideram características morfométricas e climáticas das bacias que melhor explicam o escoamento e que sejam mais facilmente mensuráveis. Em geral, os parâmetros não incorporam aspectos ecológicos e ambientais. A dificuldade de obtenção deste tipo de dados de entrada que é um dos grandes entraves implementação destes. A área de drenagem é a variável mais utilizada nos modelos de regionalização.

O método depende muito da qualidade e quantidade dos dados de entrada e saída, da estrutura e dos parâmetros do modelo, o que tende a trazer incertezas na aplicação do mesmo e, por consequência, na determinação da disponibilidade hídrica da bacia.

Tucci (2002) argumenta que o método apresenta limitações devido à variabilidade dos fatores hidrológicos, seja por razões climáticas (variações estocásticas ao longo dos anos) ou devido à escala espacial dos processos (ausência de dados para pequenas bacias, comportamento hidrológico diferenciado, entre outros).

A exigência de grande quantidade de dados esbarra na problemática da baixa concentração da rede de monitoramento (postos fluviométricos) em grande parte do território brasileiro. A inexistência de séries suficientemente longas e/ou sem falhas, mesmo quando a concentração de postos é satisfatória, também é fator preponderante na utilização do método, trazendo grandes restrições de utilização.

Quando tratamos de pequenas bacias, os problemas são intensificados. Os modelos gerados (equações) são recomendados para aplicação em bacias com características e comportamento semelhantes aos dos locais de obtenção das informações (postos utilizados para a geração do modelo); em outras palavras, o uso da regionalização limita-se à amplitude de variação das variáveis explicativas.

Estatisticamente, segundo Naghettini e Pinto (2007), isto ocorre devido ao fato de o intervalo de confiança da regressão alargar à medida que os valores da área se afastam da média. Ainda, a relação entre as variáveis independente e dependente não é linear para valores que extrapolam os dados utilizados na regressão.

A aplicação das equações de regionalização em regiões de extrapolação pode ocasionar superestimativa ou subestimativa das vazões, dependendo também do formato da equação e das variáveis explicativas envolvidas. Em geral, quando o expoente de uma equação potencial é inferior a 1, há uma tendência de superestimativa em áreas de drenagem pequenas (IEMA, 2011b).

Assim, considerando que, em geral, há poucos postos em bacias com pequenas áreas de drenagem ($<100\text{km}^2$), a estimativa torna-se um grande desafio para o conhecimento da disponibilidade hídrica e para a gestão de recursos hídricos nestas bacias.

Silveira (1997) argumenta que as limitações do método são decorrentes “*das diferenças nas escalas espaciais e temporais dos mecanismos de transformação chuva-vazão nas pequenas e grandes bacias; e das dificuldades de caracterização*

de regiões hidrologicamente homogêneas devido às especificidades locais do meio-físico”.

Reis e outros (2013), Lisboa e outros (2008) e Fioreze, Oliveira e Franco (2008), analisando o método de regionalização, de fato, perceberam maiores erros nas estimativas de vazões extremas (mínimas e máximas), e em bacias com menores áreas de drenagem ou bacias de cabeceira.

Por estes motivos, a regionalização se torna um método que não pode ser utilizado indiscriminadamente, visando suprir a carência de dados hidrológicos para pequenas bacias. Sua utilização requer análise da qualidade e quantidade dos dados, não podendo ser utilizado de forma generalizada (TUCCI, 2002).

5.1.2 Método da Interpolação Linear

O método visa simplificar a estimativa da vazão, sobretudo em casos de necessidade de respostas rápidas e escassez de dados. A estimativa não requer a definição de regiões hidrologicamente homogêneas, o que permite sua aplicação em bacias hidrográficas com número reduzido de postos fluviométricos, pois *“não há limitação em termos de graus de liberdade, por não utilizar equações de regressão nas estimativas de vazões”* (SILVA; MARQUES; LEMOS, 2009).

No entanto, o método não relaciona variáveis explicativas ao escoamento, exceção da área de drenagem, fato que pode afetar a estimativa. Ainda é recomendado apenas quando a diferença das áreas de drenagem das seções analisadas é menor que três vezes, uma em relação à outra. Eletrobras (1985b) ressalta que não se deve aplicar o método quando esta razão for excedida.

Tucci (2002) reforça que, quando há grande diferença entre as áreas de drenagem das bacias, o erro pode ser bastante significativo, principalmente para bacias com áreas menores que 50 km².

Agra e outros (2003) salientam que há a tendência de subestimação da vazão, caso seja utilizadas bacias maiores para obtenção da vazão em áreas menores. Além disso, indicam restrições no uso da metodologia quando há aquíferos de

características muito diferentes entre as bacias ou grande variabilidade de cobertura do solo, tipo de solo e geologia.

Ademais, a aplicação do método é inviabilizada quando não há postos fluviométricos na mesma bacia, ou ainda quando houver postos, mas a relação de área não for atendida. Nestes casos, o próprio autor (ELETROBRAS, 1985b) recomenda a utilização do método tradicional de regionalização.

Diversos estudos que compararam o Método da Interpolação com o método Tradicional, apontaram melhor desempenho deste último (GASPARINI, 2014; SILVA; MARQUES; LEMOS, 2009; RIBEIRO; MARQUES; SILVA, 2005).

5.1.3 Método de Chaves e outros (2002)

O método se assemelha com o da Interpolação Linear, exceto pela utilização das distâncias relativas entre os postos, trazendo relativo avanço na estimativa da vazão. Quanto mais próximo o posto de vazão conhecida ao posto de interesse, maior é a sua influência na estimativa da vazão desconhecida.

Assim como o método da Interpolação, trata-se de um método interpolativo, no qual a vazão mínima é estimada de forma fácil e rápida, não carecendo de procedimentos tradicionais de determinação de regiões hidrologicamente homogêneas, seleção de variáveis e obtenção de equações regionais (CHAVES et al., 2002). Tal fato traz simplicidade ao processo de estimativa de vazão.

Da mesma forma, é recomendado apenas quando a diferença das áreas de drenagem das seções analisadas é menor que três vezes, uma em relação à outra.

Segundo Chaves e outros (2002), a espacialização de variáveis hidrológicas torna-se facilitada pelo uso de SIGs, permitindo a uma maior e melhor exploração das informações existentes, a montante e a jusante de uma seção de interesse. No entanto, a aplicação do método torna-se inviabilizada quando não há postos fluviométricos na mesma bacia, conforme posições relativas expressas por cada caso de aplicação.

Amorim, Oliveira Netto e Mendiando (2005), comparando valores estimados pelo método de Chaves e os valores de vazão observados, obtiveram erros significativamente menores, se comparados com os erros obtidos com o Método Tradicional. Além disso, o índice de eficiência de Nash & Sutcliffe, no Método de Chaves, foi 15% superior ao do método tradicional.

Assim como o método da Interpolação, não se aplica a extrapolações em bacias onde dados fluviométricos não são disponíveis, uma vez que a mesma requer pelo menos alguns locais com vazões conhecidas (CHAVES et al., 2002).

Segundo Rodriguez (2008), é possível evidenciar que, em determinados casos, a estimativa de vazão para uma seção de interesse situada entre duas seções com vazão conhecida pode resultar em valores fora do limite compreendido entre as vazões correspondentes às duas seções com vazões conhecidas, originando um comportamento físico inesperado.

Novaes e outros (2007) sugerem que outros estudos sejam realizados utilizando o método de Chaves e da Interpolação para bacias hidrográficas com menores densidades de postos fluviométricos, considerando que uma vantagem desse método é a sua utilização em locais com informações limitadas.

5.1.4 Método da Interpolação Linear e Método de Chaves Modificados

O método traz como modificação a inserção da variável precipitação média, considerando que o processo físico de formação das vazões é bastante dependente dos volumes precipitados.

Da mesma forma que os seus originais, não requerem a definição de regiões homogêneas, permitindo sua aplicação em bacias hidrográficas com número reduzido de postos fluviométricos. No entanto, também carece de informações fluviométricas e, agora, pluviométricas em quantidade e qualidade, e em locais estratégicos.

De acordo com resultados obtidos por Novaes (2005), os métodos modificados não apresentaram melhores estimativas quando comparados aos métodos não

modificados. Isto indica que a inserção da precipitação não acrescentou melhoria à estimativa e, portanto, não se justifica e não se recomenda, uma vez que acarreta uma maior dificuldade na aplicação da metodologia.

Isto pode ser explicado pela pequena variação da precipitação nas pequenas bacias, sendo, portanto, a relação entre as áreas de drenagem e os volumes precipitados uniforme na bacia.

5.1.5 Método Silveira

O Método Silveira tem por objetivo estimar a vazão em um curso d'água, gerado por um evento de chuva, buscando reproduzir as fases do ciclo hidrológico (entre a precipitação e o escoamento no ponto de interesse). Utiliza um modelo chuva-vazão o qual busca caracterizar o decaimento do hidrograma (período de recessão) na bacia hidrográfica.

A aplicação de qualquer modelo, em geral, entra no impasse complexidade x simplificação. Quanto maior a quantidade de dados de entrada que influenciam no processo modelado, maior é a tendência de se obter melhores resultados. No entanto, o levantamento exaustivo de dados limita e torna complexa, às vezes inviável, a utilização de modelos.

O Método Silveira foi desenvolvido no intuito de simplificar a estimativa de vazões para pequenas bacias. A pequena amostragem exigida contrapõe-se às longas séries necessárias em outros métodos para estabelecimento, dispensando instalações convencionais de uma estação fluviométrica.

O método tende a se aplicar em casos específicos, mas com grande carência de informações seguras. Em região com rios intermitentes, não faz sentido lógico modelar as recessões, uma vez que parte do ano estes rios não escoam. Em locais onde a precipitação é bem distribuída, há dificuldades em se planejar as medições e caracterizar o período de estiagem.

Algumas dificuldades práticas também podem ser encontradas na aplicação do Método Silveira. Quanto à obtenção de dados de precipitação e evapotranspiração,

algumas regiões do país, particularmente nas regiões estudadas, não possuem informações suficientes, em qualidade e quantidade. Tal fato pode impactar as estimativas, considerando que os resultados são altamente dependentes dos dados de entrada.

O modelo necessita dados de precipitação no período dos dados de vazão (três medições). Em uma situação prática, podem não ser obtidos tais dados, uma vez que não há base de dados disponível *on time*. Além disso, se o registro de precipitação do período com vazões contiver erros, os mesmos são transferidos aos parâmetros e aos resultados.

O método possui grande potencial para melhoria do processo de gestão de recursos hídricos e utilização pelos órgãos gestores. A aplicação pela ANA é bastante restrita, considerando que as bacias sob a jurisdição deste órgão são, em sua maior parte, de grande porte (rios de domínio da União). Apesar disso, a Agência Nacional tem realizado diversos estudos com o Método Silveira.

Quanto aos órgãos estaduais, de forma geral, observa-se o desconhecimento e não utilização do Método, mas grande potencial de aplicação. O estado do Mato Grosso, para pequenas bacias, já regulamentou o Método Silveira, por meio de uma instrução normativa, exigindo do empreendedor interessado no processo de outorga as três medições de vazão necessárias para ajuste do modelo.

O método apesar de já ter sido desenvolvido há quase 20 anos, não é difundido entre os órgãos gestores. Os motivos para o fato podem estar relacionados à provável inabilidade do corpo técnico dos órgãos de forma geral, tornando difícil a aplicação de um modelo chuva-vazão, bem como a análise dos resultados e incertezas, por mais simples que sejam.

5.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS SELECIONADOS

A Tabela 2 apresenta os valores de Q_{90} dos pontos de estudo, obtidos a partir das séries históricas observadas (SisCAH), estimados conforme órgãos gestores

estaduais (M1a), por outras equações regionais (M1b) e pelo Método Silveira (M2), bem como os seus erros relativos percentuais, com destaque para os erros maiores que 20%.

Adicionalmente, foram analisadas as vazões Q_{90} para os pontos localizados em Minas Gerais, apesar de esta não ser a vazão de referência utilizada nos processos de outorga no estado.

Já na Tabela 3 são apresentados os valores e erros referentes à vazão $Q_{7,10}$, para os mesmos pontos de estudo.

Pode-se notar que, para os pontos localizados no Espírito Santo, não foi possível estimar as vazões $Q_{7,10}$ via métodos de regionalização (M1a e M1b), dado que o órgão gestor não utiliza tal vazão nos processos de outorga e que a maior parte das equações disponíveis referem-se a vazão Q_{90} , utilizada, atualmente, como referência para processos de outorga.

Tabela 2: Erros relativos e valores de Q_{90} observados e estimados para os pontos de estudo.

Ponto	Observado Q_{90} (m ³ /s)	M1a (Órgãos Gestores)		M1b (Outras Equações)		M2 (Método Silveira)	
		Q_{90} (m ³ /s)	ER (%)	Q_{90} (m ³ /s)	ER (%)	Q_{90} (m ³ /s)	ER (%)
A-1	1,440	1,271	11,7	1,703	18,3	0,788	45,3
A-2	0,712	1,131	59,0	0,950	33,5	0,566	20,5
A-3	0,499	0,872	74,9	0,593	18,8	0,340	31,9
B-1	2,770	2,587	6,6	2,226	19,7	2,355	15,0
B-2	1,366	1,533	12,3	1,656	21,3	1,276	6,6
C-1	0,048	0,046	4,7	0,030	38,2	0,030	37,0
C-2	0,246	0,425	72,7	0,288	17,3	0,105	57,5
C-3	0,576	0,536	6,9	0,499	13,2	0,844	46,7

Tabela 3: Erros relativos e valores de $Q_{7,10}$ observados e estimados de para os pontos de estudo.

Ponto	Observado $Q_{7,10}$ (m ³ /s)	M1a (Órgãos Gestores)		M1b (Outras Equações)		M2 (Método Silveira)	
		$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	ER (%)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	ER (%)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	ER (%)
A-1	0,895	-	-	-	-	0,120	86,6
A-2	0,386	-	-	-	-	0,309	19,9
A-3	0,272	-	-	-	-	0,157	42,2
B-1	2,034	-	-	-	-	1,625	20,1
B-2	0,762	-	-	-	-	0,815	6,9
C-1	0,024	0,019	21,4	0,014	40,3	0,007	69,2
C-2	0,117	0,190	62,4	0,151	28,8	0,022	81,6
C-3	0,247	0,278	12,6	0,283	14,7	0,459	85,8

Pela análise da Tabela 2, vê-se que as vazões Q_{90} observadas variaram de 0,048 a 2,770m³/s, nos pontos C-1 e B-1, respectivamente, correspondente à menor e à maior área de drenagem dentre os pontos estudados. O mesmo acontece com a vazão $Q_{7,10}$ que variou entre 0,024 a 2,034m³/s, nos mesmos pontos, conforme Tabela 3.

Adicionalmente, para o Método Silveira, após calibração do modelo, a Tabela 4 apresenta os erros obtidos e os coeficientes de ajuste do modelo, a saber, o coeficiente de infiltração (C_{inf}) e o coeficiente de recessão (K_{sub}).

Tabela 4: Parâmetros de ajustes obtidos para o Método Silveira.

Ponto	Q_{90} (m ³ /s)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Erro (m ³ /s)	C_{inf}	K_{sub}
A-1	0,788	0,120	0,123	0,886	32,7
A-2	0,566	0,309	0,001	0,193	121,2
A-3	0,340	0,157	0,022	0,233	84,6
B-1	2,355	1,625	0,045	0,471	179,4
B-2	1,276	0,815	0,169	0,309	125,2
C-1	0,030	0,007	0,000	0,618	68,6
C-2	0,105	0,022	0,008	0,206	63,2
C-3	0,844	0,459	0,028	0,590	103,0

De forma geral, para ambos os tipos de vazão estimados, os métodos de regionalização obtiveram resultados melhores quando comparados ao Método Silveira. O resultado pode estar relacionado a diversos fatores e incertezas agregadas à utilização do Método Silveira.

A aplicação do método Silveira requer a medição de vazões do ponto de interesse. Neste trabalho, no entanto, foram consideradas como “medições” algumas vazões obtidas no banco de dados HidroWeb/ANA. Por mais que a escolha dos períodos e dias tenha sido efetuada com cuidado e critérios, tem-se a possibilidade de erros aos resultados relacionados à medição indireta da cota (curva-chave) e sua transformação em vazão e aos erros de medição da cota.

Dado que o coeficiente de recessão (K_{sub}) é estimado com base nos registros de vazão medidos, a qualidade do ajuste do Método Silveira pode ter sido influenciada pela escolha dos períodos de medição, pela qualidade das medições e pelas incertezas associadas a este processo.

Quanto ao coeficiente de infiltração (C_{inf}), valores muito pequenos ou muito grandes podem indicar problemas no balanço hídrico e na geração do fluxo de base, possivelmente relacionados à existência de falhas nas séries de precipitação ou à grandes demandas consuntivas. C_{inf} alto indica que quase todo o volume precipitado infiltrou e abasteceu o reservatório subterrâneo. Por outro lado, valores baixos de C_{inf} , indicam que, praticamente, toda a chuva precipitada não infiltrou e não abasteceu o lençol subterrâneo.

Considerando a simplificação trazida pelo método, o mesmo torna-se extremamente dependente da qualidade dos dados de entrada, sobretudo, dos dados de precipitação. Observa-se, de forma geral, para o Brasil e, em particular para o Espírito Santo, que a rede de monitoramento é pouco densa e as séries diárias de precipitação são curtas, com falhas e/ou não consistidas.

Considerando isto, neste trabalho optou-se por utilizar dados de estimativas via satélite TRMM. Conforme ANA (2009; 2012), os dados foram testados obtendo-se resultados bastante satisfatórios com respeito à precisão na estimativa. Entretanto, em alguns locais e bacias, a aproximação do TRMM pode não ter sido adequada, o que pode agregar erros à estimativa da vazão.

Por fim, a aplicação do Método Silveira, em especial, carece conhecimento das condições hidrometeorológicas e físicas da bacia em tese. O conhecimento prévio básico do regime pluviométrico, do uso e ocupação do solo, e dos usos da água pode contribuir para a análise crítica dos resultados.

Ressalta-se que os métodos M1a e M1b correspondem basicamente à regionalização de vazões tradicional, e apesar de se tratar da mesma metodologia, o M1a apresentou, de forma geral, melhores estimativas das vazões em relação ao método M1b. Tal fato, possivelmente, está relacionado às diferentes condições e bases de dados utilizadas no ajuste das equações para a estimativa das vazões.

Em diversos pontos, para os diversos métodos, os erros relativos, tanto para a Q_{90} quanto para a $Q_{7,10}$ superaram os 50%. Erros dessa magnitude podem implicar graves problemas na gestão de recursos hídricos, acarretando a superestimativa ou subestimativa dos valores passíveis de outorga. As estimativas para $Q_{7,10}$, em geral, retornaram erros maiores se comparado às estimativas de Q_{90} .

Conforme Tabela 2, para as vazões Q_{90} , os erros do **Método M1a** variaram de 4,7% (C-1) a 74,9% (A-3). Em cinco das oito bacias estudadas, a saber, A-1, B-1, B-2, C-1 e C-3, o método utilizado/recomendado pelo órgão gestor obteve erros menores que 20%. Os erros para o **Método M1b** (outras equações) variaram de 13,2% (C-3) a 38,2% (C-1). Em cinco pontos de estudo (A-1, A-3, B-1, C-2 e C-3) o método alcançou erros menores que 20%. Já o **Método Silveira (M2)** obteve erros variando de 6,6% (B-2) a 57,6% (C-2), sendo que em apenas duas bacias (B-1 e B-2) os erros foram menores que 20%.

Comparando os métodos individualmente, por ponto de estudo, observa-se que o Método M1a foi o que retornou melhores resultados relativos para a estimativa da Q_{90} . Em quatro bacias (A-1, B-1, C-1 e C-3) os erros para este método foram menores se comparados às demais formas de estimativa.

No ponto A-1, os erros variaram de 11,7% a 45,3%, sendo que o Método M1a obteve o melhor resultado. O Método M1b também resultou em boa estimativa, com erro relativo de 18,3%. O resultado do ajuste via Método Silveira (M2) é apresentado no Apêndice C. O erro do valor obtido em relação ao valor observado (SisCAH) foi

de 45,3%. O coeficiente de infiltração foi de 0,886, enquanto o de recessão ajustou-se em 32,7.

Para a bacia A-2, todos os métodos apresentaram erros maiores que 20%; no entanto, o Método M2 obteve o melhor resultado. O coeficiente de infiltração foi de 0,193, enquanto o de recessão ajustou-se em 121,2 (Apêndice C).

Para o ponto A-3, o Método M1b apresentou melhor resultado (18,8%). Os demais apresentaram erros maiores que 20%, sendo destaque o erro para o M1a (órgão gestor) que alcançou 74,9%.

Nos pontos B-1 e B-2, todos os métodos apresentaram resultados satisfatórios, sendo que o M1a e o M2 resultaram em menores erros. O resultado do ajuste via Método Silveira (M2) obteve C_{inf} iguais a 0,471 (B-1) e 0,309 (B-2) e K_{sub} iguais a 179,4 (B-1) e 125,2 (B-2) (Apêndice C).

No ponto C-1, apresentou-se como único resultado satisfatório o do Método M1a. Já no ponto C-2, o Método M1b retornou menor erro relativo. Para ambos os pontos de estudo, o Método M2 obteve erros bastante elevados (37,0 e 57,5%). O C_{inf} foi ajustado em 0,618 (C-1) e 0,206 (C-2), enquanto o K_{sub} resultou em 68,6 (C-1) e 63,2 (C-2) (Apêndice C).

Para o ponto C-3, as formas de estimativa via regionalização (M1a e M1b) foram as que apresentaram os melhores resultados, com erros entre 6,9 e 13,2%. O Método Silveira não se adequou à bacia, com erro relativo de 46,7%. O coeficiente de infiltração foi de 0,590, enquanto o de recessão ajustou-se em 103,0.

Já para as vazões $Q_{7,10}$ (Tabela 3), os erros do **Método M1a** variaram de 12,6% (C-3) a 62,4% (C-2). Apenas o ponto C-3 retornou erro menor que 20%. O mesmo ocorreu no **Método M1b**, com erros variando 14,7% (C-3) a 40,3% (C-1). Já o **Método Silveira (M2)** obteve erros variando de 6,9% (B-2) a 86,6% (A-1), sendo que em apenas duas bacias (A-2 e B-2) os erros foram menores que 20%.

Considerando cada ponto de estudo, individualmente, para a $Q_{7,10}$, observa-se novamente que o Método M1a retornou melhores resultados relativos. Em duas bacias (C1 e C3), os erros para este método foram menores se comparados às demais formas de estimativa.

Nos pontos A-1, A-2, A-3, B-1 e B-3, a vazão mínima $Q_{7,10}$ foi estimada apenas pelo Método Silveira (M2). Destes pontos, apenas dois (A-2 e B-2) resultaram em erros relativos menores que 20%. O ponto B-1 apresentou erro de 20,1% entre o valor observado e o valor estimado via Método M2. Os resultados dos ajustes via Método Silveira (M2), para cada ponto, são apresentados no Apêndice C.

Nos pontos C-1 e C-2, todos os métodos apresentaram erros superiores a 20%, entretanto, o Método M1a (no ponto C-1) e o Método M1b (C-2) apresentaram os menores erros. Para o ponto C-3, os menores erros também foram obtidos a partir das estimativas via regionalização (M1a e M1b).

5.3 PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA O APERFEIÇOAMENTO DA ESTIMATIVA DE VAZÃO EM PEQUENAS BACIAS

5.3.1 Disponibilidade de informações hidrometeorológicas

Apesar do esforço em realizar estimativas em locais com carência de informações e em pequenas bacias, nenhuma aproximação, estimativa ou modelo será tão eficiente quanto os dados reais de monitoramento em quantidade e qualidade. A definição de métodos simplificados, que demandem menor quantidade de dados, deve ser vista apenas como uma alternativa a curto/médio prazos.

De fato, o aumento da confiabilidade das estimativas e da segurança na tomada de decisão requer a expansão da rede hidrometeorológica, com prioridade nas bacias de pequeno porte e o aumento do volume de informações. Quanto maior a quantidade e melhor a qualidade das informações disponíveis, maior tende a ser a segurança nas estimativas de vazão mínima.

Ademais, observam-se diversas estações com dados em quantidade e qualidade inadequadas para utilização, sobretudo, quando se trata de pequenas bacias. Em muitos casos, as estações encontram-se paralisadas, o que também dificulta ou impossibilita a estimativa da disponibilidade hídrica.

A ampliação da rede hidrometeorológicas e o aumento da disponibilidade de informações devem ser tratados como prioridade pelos governos e pelos órgãos

gestores, e por envolver custos de manutenção e implantação de postos, requer encaminhamento como política pública.

Sugere-se, ainda, o refinamento na medição da área de drenagem e a revisão de parâmetros relacionadas às estações de monitoramento implantadas, tais como sua localização, alterações de regime, etc. Erros atribuídos a estes fatores podem impactar diretamente as estimativas de vazão mínima de um curso d'água.

5.3.2 Métodos específicos para pequenas bacias

Considerando a carência de informações para as pequenas bacias, sugere-se aos órgãos gestores e à academia, o investimento no desenvolvimento, aprimoramento e utilização de métodos específicos para a estimativa de vazões em pequenas bacias.

A ação dos órgãos gestores, neste contexto, deve se transformar em premissa do seu planejamento e atuação, com ênfase nos locais com baixíssima densidade de informações hidrológicas.

5.3.3 Vazão ecológica e métodos holísticos

Apesar de não ter sido objeto direto deste estudo, a determinação da vazão mínima por métodos ecológicos e holísticos consiste em um grande e necessário avanço na gestão de recursos hídricos no Brasil.

O Sistema de Gestão de Recursos Hídricos nacional abriu precedente para a gestão participativa e descentralizada, criando inclusive a figura dos comitês de bacia, entes deliberativos para a tomada de decisão local. Entretanto, pouco se avançou no sentido de implantar tais princípios na definição da vazão mínima.

De uma maneira geral, no Brasil, as estimativas de vazão para outorga adotadas nos estados não trazem componentes ecológicos, tornando-se meras autorizações às derivações, sem preocupação de resguardar o ecossistema e o meio ambiente. Não se observa legislação nacional que defina as vazões ecológicas (SANTOS; CUNHA, 2013).

Neste sentido, recomenda-se a aplicação de métodos ecológico-holísticos, baseando-os nas realidades locais e regionais de cada bacia, e considerando seus diversos aspectos ecológicos, ambientais, sociais, culturais, etc.

Ressalta-se que os métodos ecológicos/holísticos, principalmente devido sua complexidade e quantidade de fatores de influência, são normalmente empregados apenas a título de pesquisa acadêmica, não sendo empregados pelos órgãos gestores.

5.3.4 Aplicação e utilização do método Silveira

Apesar dos resultados pouco satisfatórios obtidos neste estudo, o Método Silveira continua sendo de grande potencial para utilização para estimativa das vazões mínimas em casos de ausência de informações hidrológicas em pequenas bacias, sobretudo, porque se trata de um método já testado e reconhecido pela ANA para este fim.

Recomenda-se dar continuidade à aplicação do Método Silveira por parte dos órgãos gestores, de forma mais aprofundada quanto possível, em outras bacias, com melhores dados de entrada, em nível de análise e comparação com os métodos atualmente utilizados.

Considerando a possibilidade de utilização do Método e tendo em vista a dificuldade de obtenção de dados de chuvas, evaporação, uso do solo, dentre outros, recomenda-se a realização de estudo de geoespacialização destas variáveis, de modo a torna-las mais facilmente utilizáveis, quiçá importáveis diretamente no Sistema desenvolvido pela ANA.

5.3.5 Disponibilidade sazonal

Apesar de não ser foco direto deste trabalho, ficou evidenciada, sobretudo, a partir da revisão de literatura realizada, a importância de se considerar as variações

sazonais para a estimativa de vazões, frente às variações naturais dos processos hidrológicos, da disponibilidade e das demandas hídricas.

De fato, a consideração de vazão mínima única/estática tende a trazer prejuízos à alocação do recurso na bacia hidrográfica, subestimando ou superestimando a disponibilidade, o que implica no atendimento às demandas de forma, muitas vezes, errôneas. Neste sentido, recomenda-se a análise sazonal da disponibilidade hídrica por parte dos órgãos gestores estaduais.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que:

- A maior parte dos métodos de estimativa de vazão mínima não foi concebida para atendimento à escala de pequenas e microbacias e, portanto, tendem a não estimar de forma satisfatória a vazão e a disponibilidade hídrica dos pequenos cursos d'água.
- Dentre os métodos levantados, o método Silveira é o que mais agrega, em sua concepção, aspectos relacionados às peculiaridades das pequenas bacias. Na comparação quantitativa, o Método Tradicional de regionalização, utilizados pelos órgãos gestores e/ou disponíveis em literatura, apresentaram, de forma geral, melhores resultados, tanto para a Q_{90} quanto para a $Q_{7,10}$. Apesar disso, cientificamente, não é possível utilizar ou recomendar tal método para o contexto de pequenas bacias.
- Para a Q_{90} , em cinco das oito bacias estudadas (A-1, B-1, B-2, C-1 e C-3), os erros obtidos a partir do método tradicional (utilizado e/ou recomendado pelo órgão gestor) foram menores que 20%. Considerando outras equações disponíveis em literatura, novamente, em cinco pontos de estudo (A-1, A-3, B-1, C-2 e C-3), os erros foram abaixo de 20%. Para o Método Silveira, em apenas duas bacias (B-1 e B-2) os erros foram menores que este limite.
- Para a $Q_{7,10}$, o método utilizado/recomendado pelo órgão gestor e as equações disponíveis em literatura retornaram erros maiores que 20% em dois dos três pontos analisados (estimado apenas para Minas Gerais). Os erros gerados a partir do Método Silveira foram menores que 20% apenas em duas bacias estudadas (A-2 e B-2).
- Os piores resultados trazidos pelo Método Silveira podem estar relacionados a diversos fatores e incertezas agregadas a sua utilização, tais como, a qualidade e quantidade de dados de precipitação e evapotranspiração disponíveis e utilizados, a consideração/escolha do período de estiagem e extração das três medições da série de dados do HidroWeb/ANA. O método é extremamente dependente da qualidade dos dados de entrada.

- Foram propostas diretrizes visando ao aperfeiçoamento das estimativas de vazão mínima e, por consequência, da gestão de recursos hídricos, as quais apontam a necessidade de aumento do monitoramento hidrológico, além do desenvolvimento e aperfeiçoamento dos métodos de estimativa, sobretudo baseado no conceito de vazão ecológica e que considerem mais do que simplesmente os aspectos hidrológicos.

A partir deste, recomenda-se para trabalhos futuros:

- A **análise detalhada das interações e funções hidrológicas em pequenas bacias**, incluindo instrumentação, visando ao desenvolvimento de novos métodos de estimativa de vazão.
- O **desenvolvimento, adaptação e testes de métodos com caráter holístico**, específicos para cada situação/bacia, partindo da interpretação e acoplamento de conhecimentos locais até estratégias de auto/cogestão das pequenas bacias.
- A **continuidade no esforço de implementação do Método Silveira**, com investigações mais aprofundadas e aplicação em outras condições e locais, particularmente no estado do Espírito Santo, considerando a natureza de suas bacias hidrográficas e a carência de informações.
- A **avaliação mais aprofundada do Método Silveira**, no que se refere à escolha das vazões “medidas” em diversos períodos com dados disponíveis, com a avaliação dos coeficientes de ajuste e das vazões estimadas. A análise de vários conjuntos de dias e anos selecionados aleatoriamente e obtenção de pares de parâmetros C_{inf} e K_{sub} permitiria inferir sobre a adequação do método uma determinada região.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2014**. Ed. Especial. Brasília: ANA, 2015a. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/docs/conj2014_inf.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Diagóstico da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Brasil e Fiscalização dos Usos de Recursos Hídricos no Brasil**: Caderno de Recursos Hídricos 4. Brasília: ANA, 2007a. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2007/DiagnosticoDaOutorgaDeDireitoDeUso.pdf>>. Acesso em: 11 de dezembro de 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **HidroWeb: Sistema de Informações Hidrológicas**. 2015b. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 19 de novembro de 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/MANUALDEProcedimentosTecnicoseAdministrativosdeOUTORGAdDireitodeUsodeRecursosHidricosdaANA.pdf>>. Acesso em: 11 de dezembro de 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Nota Técnica n.º 078/GEREG/SRE-ANA**: Vazões de referência em pequenas bacias – bacia do rio São Marcos. Brasília, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Nota Técnica n.º 113/GEREG/SOF-ANA**: Apresentação dos resultados das estimativas de disponibilidade hídrica em pequenas bacias de cabeceira sem dados fluviométricos, realizadas pela ANA, e proposta para continuidade dos trabalhos. Brasília, 2007b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Nota Técnica n.º 153/GEREG/SOF-ANA**: Disponibilidade hídrica em pequenas bacias – ano 2009. Brasília: 2009.

AGRA, S. G.; SOUZA, V. C. B.; NEVES, M. G. F. P.; CRUZ, M. A. S. **Metodologias de regionalização de vazões: estudo comparativo na bacia do Rio Carreiro – RS**. In: XV Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste, Cuiabá, 2007.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **FAO Irrigation and Drainage Paper Nº 56**. Crop Evapotranspiration (guidelines for computation crop water requirements. Rome: FAO, 1998.

AMORIM, E. L. C.; OLIVEIRA NETTO, A. P.; MENDIONDO, E. M. **Estudo de métodos para regionalização de vazão**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.

ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS: uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Coordenação Técnica, Direção e Roteirização Humberto Paulo Euclides. 3. ed. Convênio SEAPA/RURALMINAS/UFV. 2011. Disponível em: <<http://www.atlasdasaguas.ufv.br/>>. Acesso em: 04 de janeiro de 2016.

BRAGA, B. HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental:** O desafio do desenvolvimento sustentável. 2.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 12 de janeiro de 2015.

CENTRAIS HIDRELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. – ELETROBRAS. **Metodologia para regionalização de vazões.** Volume I. Rio de Janeiro-RJ, 202 p., 1985a.

CENTRAIS HIDRELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. – ELETROBRAS. **Manual de minicentrals hidrelétricas.** Rio de Janeiro, 1985b.

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em Sistemas de Informações Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n. 3, p. 43-51, 2002.

COLLISCHONN, B.; PANTE, A. R. **TRMM-forced rainfall-runoff modelling for water management purposes in small ungauged basins.** In: Remote Sensing and Ground-based Methods in Multi-Scale Hydrology Symposium (Proceedings of Symposium). Melbourne, Australia, 2011.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais.** 2001. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ESPÍRITO SANTO. **Lei Estadual 10.143, de 13 de dezembro de 2013.** Cria a Agência Estadual de Recursos Hídricos – AGERH, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.al.es.gov.br>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2015.

ESPÍRITO SANTO. **Lei Estadual 10.179, de 17 de março de 2014.** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo – SIGERH/ES e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.al.es.gov.br>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2015.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. **Atlas digital das águas de Minas**. Viçosa: UFV, RURALMINAS, IGAM, 78 p., 2007.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F.; SANTOS, A. P. **Regionalização hidrológica na região hidrográfica capixaba, compreendida entre os limites da bacia do rio Doce e do rio Itabapoana**. In: I Simpósio de Recurso Hídricos do Norte e Centro-Oeste, Cuiabá-MT, 2007.

IOREZE, A. P.; OLIVEIRA, L. F. C.; FRANCO, A. P. B. Avaliação do desempenho de equações de regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 3, n. 2, p. 62-76, 2008.

GALLINA, K. L. **Enquadramento de corpos de água em pequena e micro bacias hidrográficas rurais de base agrícola familiar: subsídios à elaboração da fase diagnóstica**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2014.

GARAVENTTA, M. **Informações Outorga CTPOAR** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <mfp.ambiental@outlook.com> em 29 de outubro de 2015.

GASPARINI, K. A. C. **Regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES, 2014.

GOMES, M. A. F.; PESSOA, M. C. P. Y. **Planejamento ambiental do espaço rural com ênfase para microbacias hidrográficas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010.

GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS – GPRH (Universidade Federal de Viçosa – UFV); INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2012.

HUFFMAN, G., ADLER, R., BOLVIN, D., GU, G., NELKIN, E., BOWMAN, K., HONG, Y., STOCKER, E. & WOLFF, D. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TCMA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. **Journal of Hydrometeorology**, n. 8, p. 38-55, 2007.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IEMA (Espírito Santo). Instrução Normativa nº 019, de 4 de outubro de 2005. **Diário Oficial do Espírito Santo**, Vitória, 6 out. 2005. Disponível em: <<http://www.meioambiente.es.gov.br>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2014.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IEMA. **Nota Técnica n.º 007/SUORE/GRH/IEMA:** Metodologia para análise de outorga de direito de uso de recursos hídricos utilizando o sistema de controle de balanço hídrico das bacias hidrográficas do Estado do Espírito Santo (SCBH-ES). Cariacica-ES, 2013.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IEMA. **Nota Técnica n.º 003/SUORE/GRH/IEMA:** Base hidrográfica para implementação do sistema de balanço hídrico na bacia do rio São Mateus. Cariacica-ES, 2011a.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IEMA. **Nota Técnica n.º 004/SUORE/GRH/IEMA:** Estudo de regionalização da vazão de referência para a região homogênea A3. Cariacica-ES, 2011b.

INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HIDRICOS – IEMA. **Levantamento Aerofotogramétrico, Apoio de Campo, Aerotriangulação, elaboração Ortofotomosaicos, Modelo Digital de Elevação e Mapeamento da Cobertura Vegetal Nativa e do Uso das Terras, em escala igual, ou melhor, a 1/25.000, do Estado do Espírito Santo.** Ortofotomosaico (RGB) 2007/2008 Pixel 1x1m, UTM, Datum WGS84, Zona 24s.1:15.000 PEC “A”. Vitória-ES. 2007-2008.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES – IJSN. **Mapas do Espírito Santo.** 2015. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/mapas>>. Acesso em: 6 de dezembro de 2015.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Relatório hidrometeorológicos de Minas Gerais: Período Chuvoso 2014/2015.** 2015a. Disponível em: <<http://www.simge.mg.gov.br>>. Acesso em: 22 de dezembro de 2015.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Portal InfoHidro:** Mapoteca. 2015b. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/mapas-e-bases-cartograficas>>. Acesso em: 6 de dezembro de 2015.

KRAUSE, P; BOYLE, D. P.; BASE, F. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. **Advances in Geosciences**, v. 5, p. 89–97, 2005.

KUMMEROW, C., SIMPSON, J., THIELE, O., BARNES, W., CHANG, A. T. C., STOCKER, E., ADLER, R. F., HOU, A., KAKAR, R., WENTZ, F., ASHCROFT, P., KOZU, T. HONG, Y., OKAMOTO, K., IGUCHI, T., KUROIWA, H., IM, E., HADDAD, Z., HUFFMAN, G., FERRIER, B., OLSON, W. S., ZIPSER, E., SMITH, E. A., WILHEIT, T. T., NORTH, G. KRISHNAMURTI, T. & NAKAMURA, K. **The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit.** J. Appl. Met. 39, 1965–1982. 2000.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de Bacias Hidrográficas:** Aspectos conceituais e metodológicos. Brasília: IBAMA, 1995.

LEGATES, D. R.; MCCABE JR., G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water resources research**, v. 35, p.233-241, 1999.

LISBOA, L; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D; PRUSKI, F. F. Estimativa e regionalização das vazões mínimas e média na bacia do rio Paracatu. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.16, n.4, 471-479 Out./Dez., 2008.

LOPES, M. E. P. de A. **Avaliação de racionalidade do uso da água na agricultura: desenvolvimento de modelos conceituais e de procedimento metodológico em apoio à co/auto-Gestão de microbacia**. 2011. 406 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

MACHADO, C. J. S. (org.). **Gestão de águas doces**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

MOREIRA, M. C. **Gestão e planejamento dos recursos hídricos: Regionalização de vazões e proposição de índices para identificação de conflitos pelo uso da água**. 2010. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2010.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Superintendência Regional de Belo Horizonte, 2007.

NASCIMENTO, D. T. (org.). **PNC Rural: caderno de regularização ambiental rural**. Brasília: MMA, 2011.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models: Part I - A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, p. 282-290, 1970.

NOVAES, L. F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu**. 2005. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

NOVAES, L. F.; PRUSKI, F. F.; QUEIROZ, D. O.; RODRIGUEZ, R. G.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Avaliação do desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, n.2, p. 51-61, 2007.

OLIVEIRA, F. A. **Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do Rio Grande**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

PEREIRA, J. S.; LANNA, A. E. L. **Análise de critério de outorga dos direitos de uso**. 1996. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, 1996.

PROJETO ÁGUAS LIMPAS. **Projeto de Gerenciamento da Poluição Costeira e de Águas do Estado do Espírito Santo**. Projeto BIRD 7249-BR. Relatório nº 05-A (Aditivo) Estudo de Regionalização de Vazões e Metodologia para determinação de vazões insignificante para as 12 bacias hidrográficas do Estado do Espírito Santo. 2009.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento superficial**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2004.

REIS, J. A. T.; CAIADO, M. A. C. BARBOSA, J. F.; MOSCON, M.; MENDONÇA, A. S. F. Análise regional de vazão mínima de referência na região centro-sul do Estado do Espírito Santo. **Revista CIATEC – UPF**, v.5, p.1-11, 2013.

RIBEIRO, C. B. de M.; MARQUES, F. A.; SILVA, D. D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do Rio Doce. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.13, n.2, p. 103-117, 2005.

RODRIGUES, R. G. **Proposta conceitual para a regionalização de vazões**. 2008. 181 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SANTOS, P. V. C. J.; CUNHA, A. C. Outorga de recursos hídricos e vazão ambiental no Brasil: perspectivas metodológicas frente ao desenvolvimento do setor hidrelétrico na Amazônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, p. 81-95, 2013.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCARDUA, J. A.; FEITOZA, L. R.; CASTRO, L. L. F. **Estimativas da evapotranspiração potencial para o Estado do Espírito Santo**. Boletim de Pesquisa, nº 6. 2. ed. Vitória, ES: EMCAPA, 1986.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DA PESCA (Santa Catarina) – SEAP. **Programa SC Rural**. Disponível em: < <http://www.scrural.sc.gov.br>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO/ COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL (São Paulo) – SAA/CATI. **Projeto de Desenvolvimento Rural Sustentável – Microbacias II**. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/microbacias2>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA E PECUÁRIA – SEAPEC (Rio de Janeiro). **Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável em Microbacias**

Hidrográficas – Rio Rural. Disponível em: <<http://www.microbacias.rj.gov.br>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE – SEMA (Governo do Estado do Mato Grosso). Instrução Normativa nº 001, de 8 de abril de 2009. **Diário Oficial do Estado do Mato Grosso**, Cuiabá, 13 mai. 2009. Disponível em: <<https://www.iomat.mt.gov.br/>>. Acesso em: 19 de outubro de 2015.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMAD; INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM (Minas Gerais). Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março 2012. **Diário Oficial de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 31 mar. 2012. Disponível em: <<http://www.iof.mg.gov.br>>. Acesso em: 19 de outubro de 2015.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – SEAMA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. 1996.

SETTI, A. A. LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2ª. ed. Brasília: ANEEL, 2000.

SILVA JÚNIOR, C. A. **Análise regional de funções hidrológicas aplicáveis à avaliação de vazões mínimas nas bacias hidrográficas dos rios Itapemirim e Itabapoana (ES)**. 2014. 238 fls. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do Rio São Francisco. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.17, n.5, p. 392-403, 2009.

SILVA, L. A. **Deflúvio superficial em Minas Gerais: caracterização e associação com fatores físicos e ambientais**. 2014. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2014.

SILVA, L. H. P. **Informações Outorga CTPOAR** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <mfp.ambiental@outlook.com> em 29 de outubro de 2015.

SILVEIRA, A. L. L.; SILVEIRA, G. L. **Vazões mínimas**. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2003. Cap. 5, p125-163.

SILVEIRA, G. L. **Quantificação de vazão em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de Vazão em Pequenas Bacias sem Dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, p. 111-131, 1998.

SOUSA, H. T.; PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N.; CECOM, P. R.; SOUZA, J. R. C. **SisCAH 1.0**: Sistema computacional para análises hidrológicas (manual). Brasília: ANA; Viçosa: UFV, 2009.

SOUZA, S. M. T. (coord.). **Deflúvios superficiais no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: COPASA: HIDROSISTEMAS, 1993.

TAMIOSSO, M. F. **Avaliação do método Silveira com uso de dois modelos chuva-vazão para estimativa de disponibilidade hídrica em pequenas bacias com pequena amostragem de vazão**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

TEIXEIRA, E. C. (org.). **Recursos hídricos e desenvolvimento sócio-econômico: Experiências nacionais e capixabas**. Vitória: Enfoque Comunicação e Marketing, 2003.

TEIXEIRA, E. C.; FRAGA, M. R.; RESENDE, M.; DARÉ, J. C.; LOPES, M. E. P. de A. **Projeto Sossego: integrando experiências de gestão de recursos hídricos e desenvolvimento sustentável local**. In: Simpósio Experiências em Gestão de Recursos Hídricos por Bacia Hidrográfica, São Pedro-SP, 2007.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, Araraquara, n. 20, p. 137, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade (UFRGS), 2002.

WOLFF, W.; DUARTE, S. N.; MINGOTI, R. Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.19, n.4, p. 21-33, 2014.

APÊNDICES

Apêndice A

Mapas de localização dos pontos de estudo, com destaque para as bacias hidrográficas nas quais se inserem

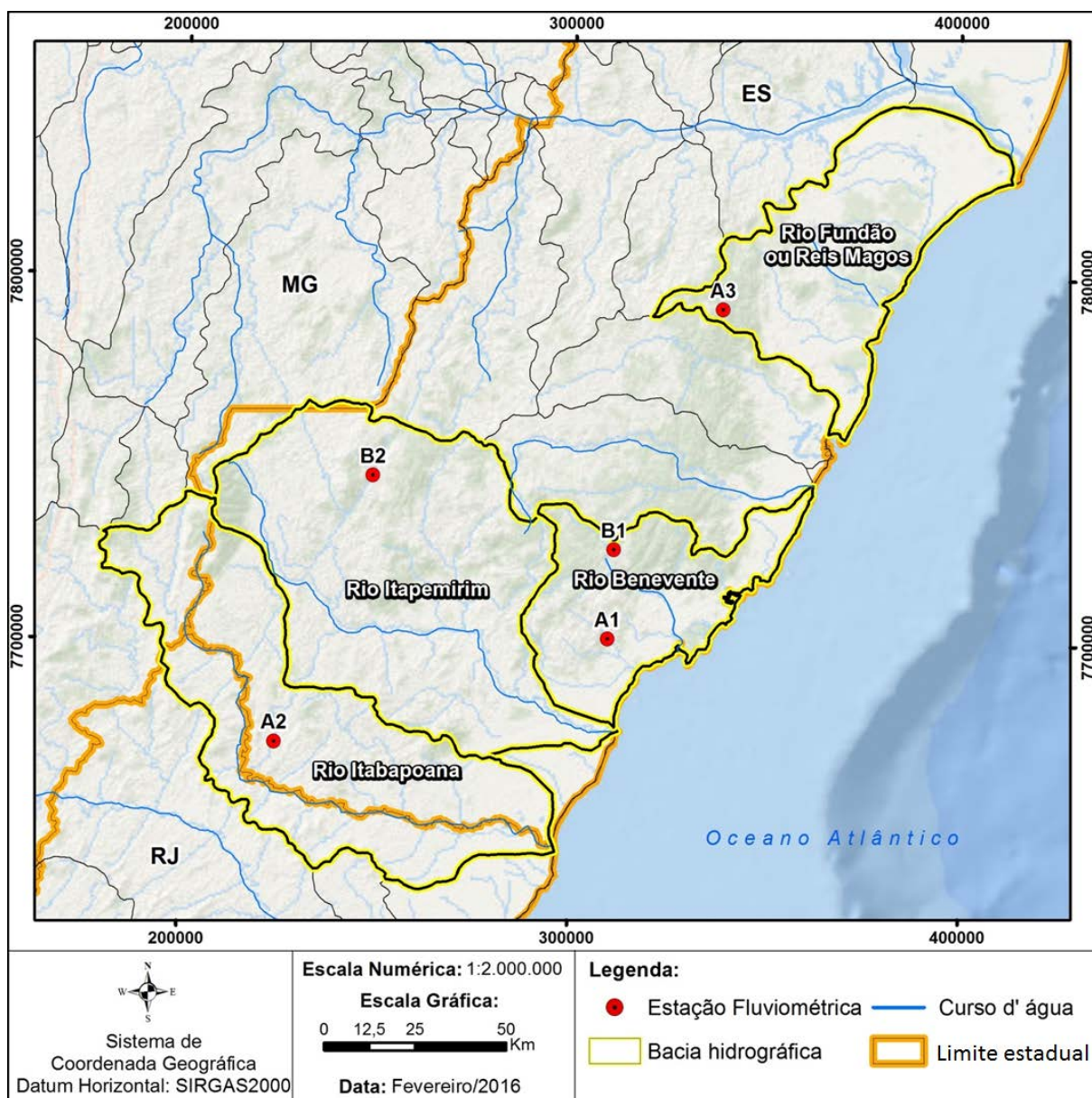


Figura A.1: Mapa de localização das estações fluviométricas do Espírito Santo e suas bacias hidrográficas.

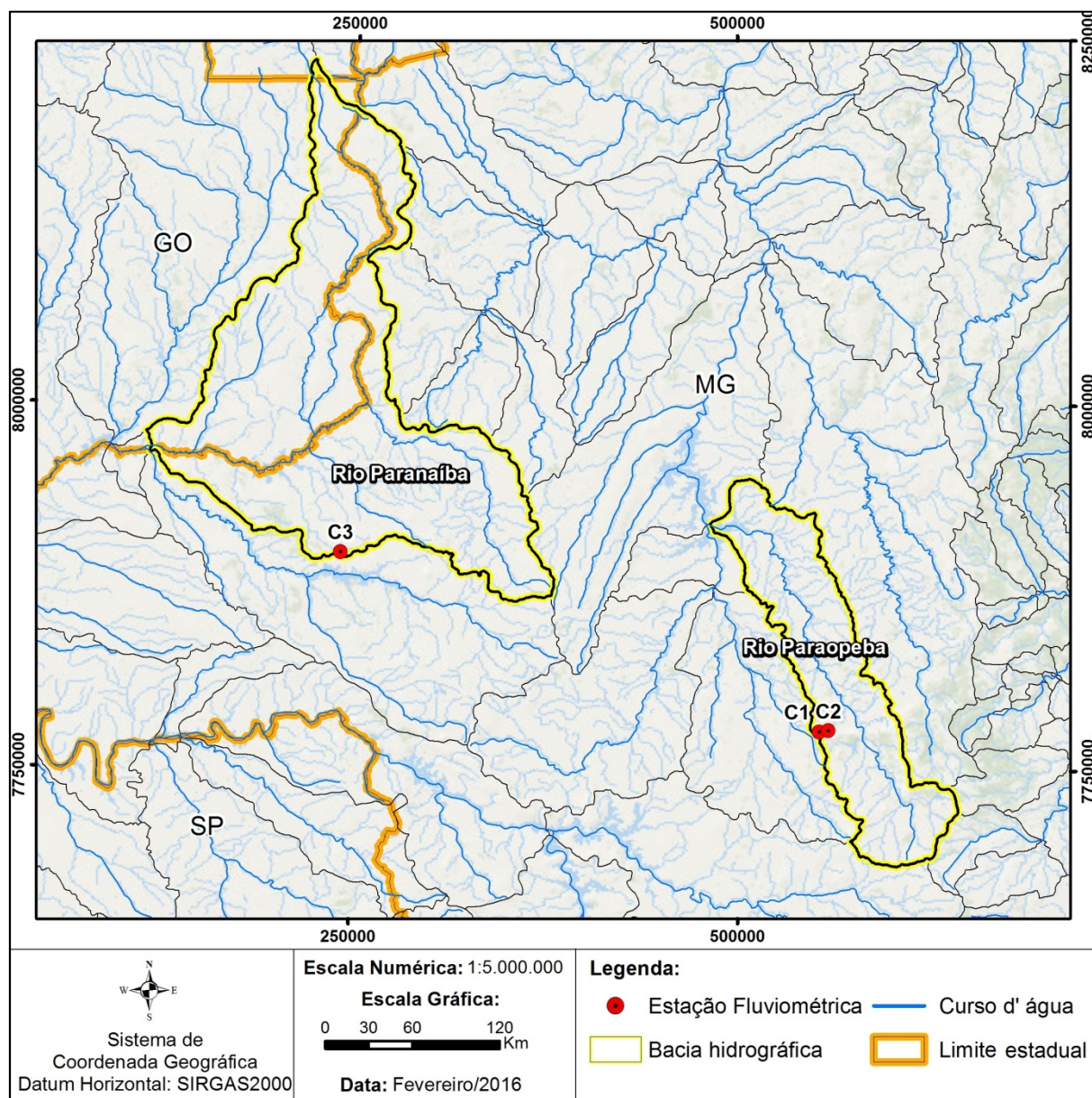


Figura A.2: Mapa de localização das estações fluviométricas de Minas Gerais e suas bacias hidrográficas.

Apêndice B

Hidrogramas analisados para a seleção de períodos de estiagem.

Para cada estação/ponto de estudo, é apresentado:

- Hidrograma gerado pelo Sischah 1.0 para o ano escolhido para análise no Método Silveira;
- Hidrograma com destaque para o período de estiagem selecionado, juntamente com a série de precipitação média na bacia (calculada pelo Método de Thiessen);
- Tabela dos dados do período de estiagem selecionado (21 dias), em negrito os valores utilizados como “medição” no Método Silveira.

ICONHA MONTANTE (A-1)

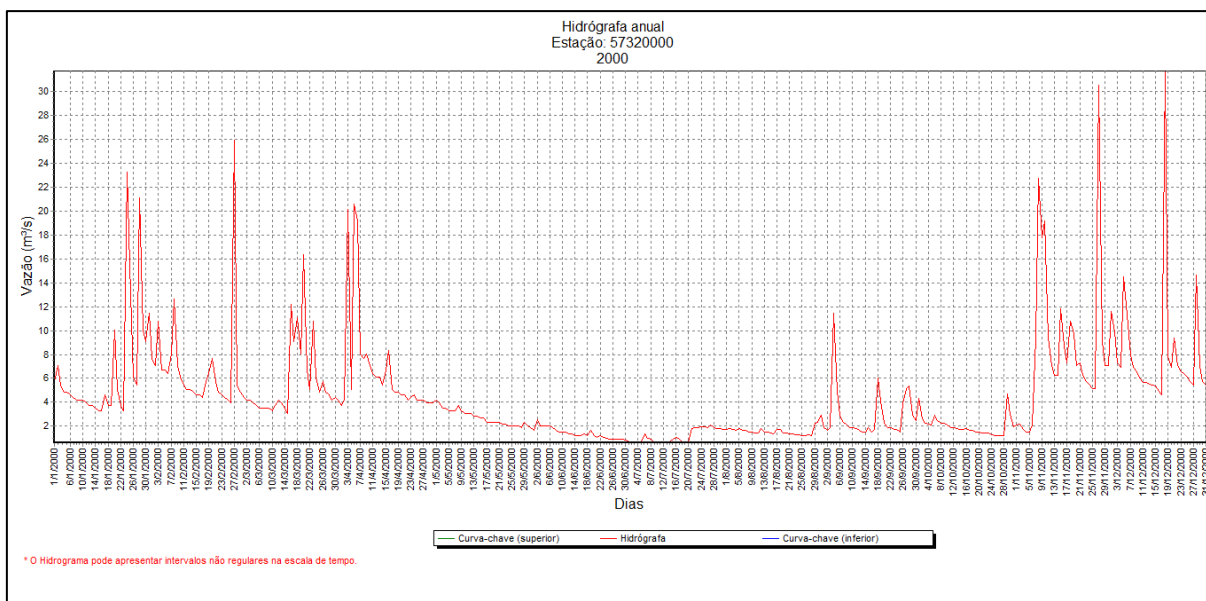


Figura B.1: Hidrograma gerado pelo Siscah 1.0, para o ponto A-1.

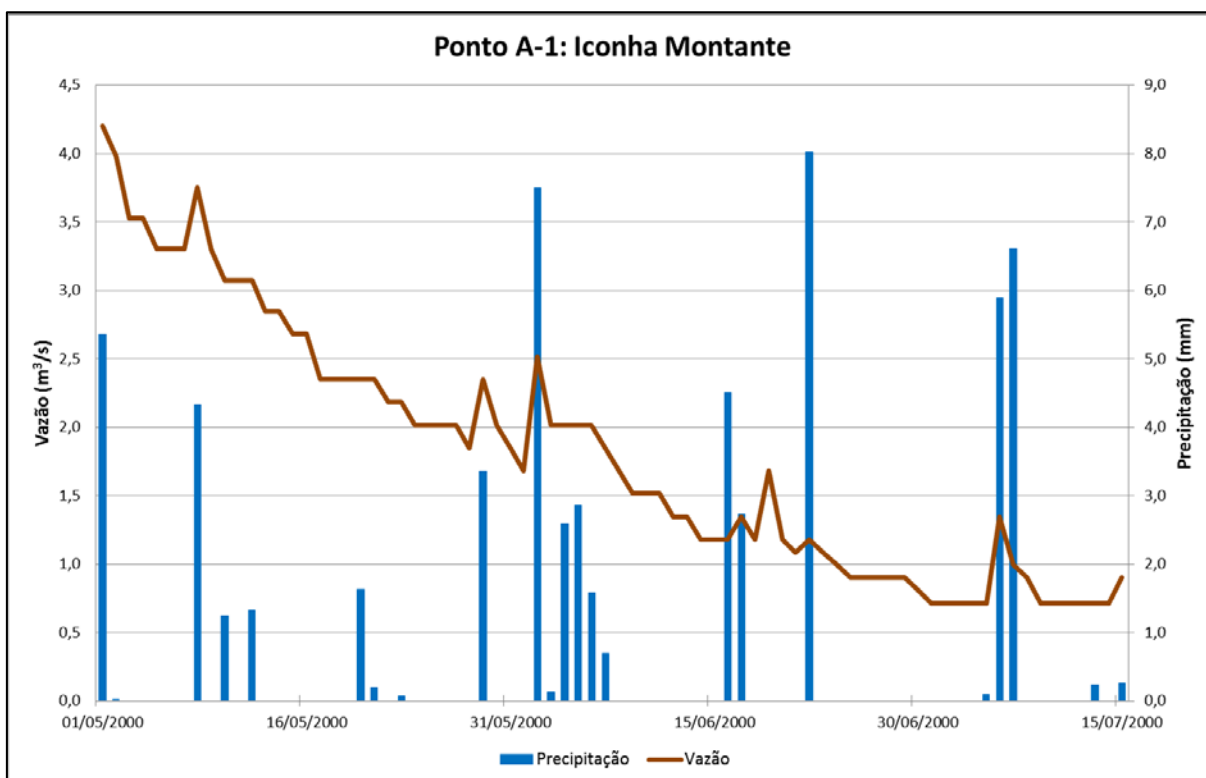


Figura B.2: Hidrograma e precipitação para o período de estiação selecionado, em A-1.

Tabela B.1: Dados de vazão e precipitação do período de estiagem selecionado, em A-1.

Data	Vazão (m³/s)	Precipitação - Duas Barras (DNOS) (mm)	Precipitação Iconha Montante (mm)	Precipitação Média na Bacia (mm)
08/05/2000	3,7500	4,2	4,8	4,3
09/05/2000	3,3000	0,0	0,0	0,0
10/05/2000	3,0750	1,3	1,0	1,2
11/05/2000	3,0750	0,0	0,0	0,0
12/05/2000	3,0750	1,7	0,0	1,3
13/05/2000	2,8500	0,0	0,0	0,0
14/05/2000	2,8500	0,0	0,0	0,0
15/05/2000	2,6830	0,0	0,0	0,0
16/05/2000	2,6830	0,0	0,0	0,0
17/05/2000	2,3490	0,0	0,0	0,0
18/05/2000	2,3490	0,0	0,0	0,0
19/05/2000	2,3490	0,0	0,0	0,0
20/05/2000	2,3490	1,9	0,7	1,6
21/05/2000	2,3490	0,0	0,9	0,2
22/05/2000	2,1820	0,0	0,0	0,0
23/05/2000	2,1820	0,0	0,3	0,1
24/05/2000	2,0150	0,0	0,0	0,0
25/05/2000	2,0150	0,0	0,0	0,0
26/05/2000	2,0150	0,0	0,0	0,0
27/05/2000	2,0150	0,0	0,0	0,0
28/05/2000	1,8480	0,0	0,0	0,0

SÃO JOSÉ DO CALÇADO (A-2)

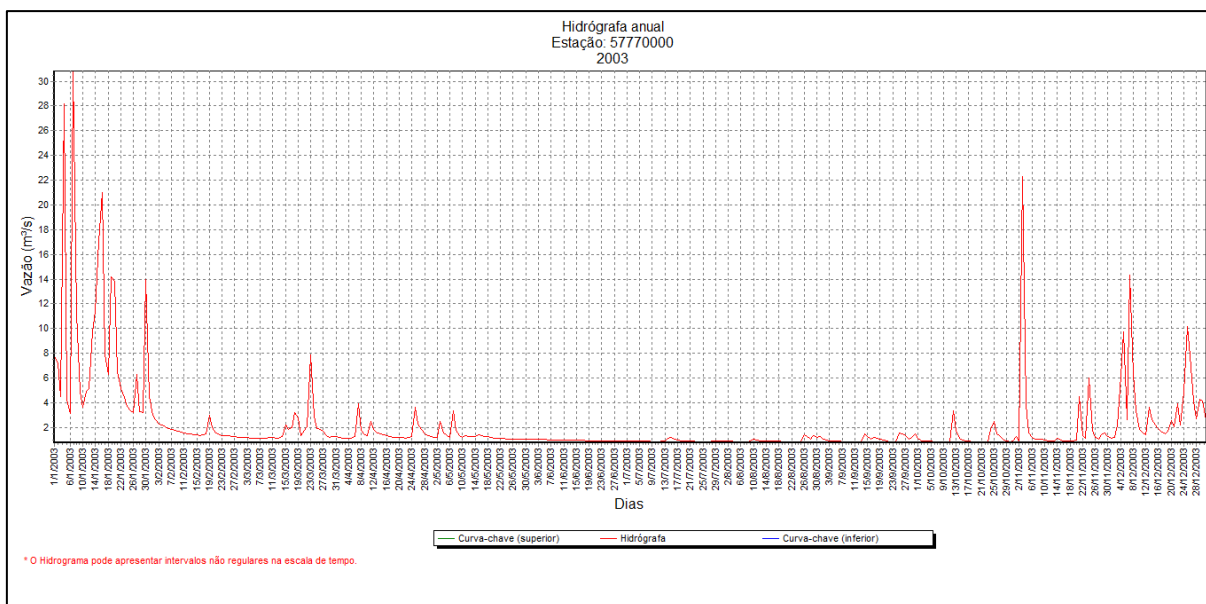


Figura B.3: Hidrograma gerado pelo Siscah 1.0, para o ponto A-2.

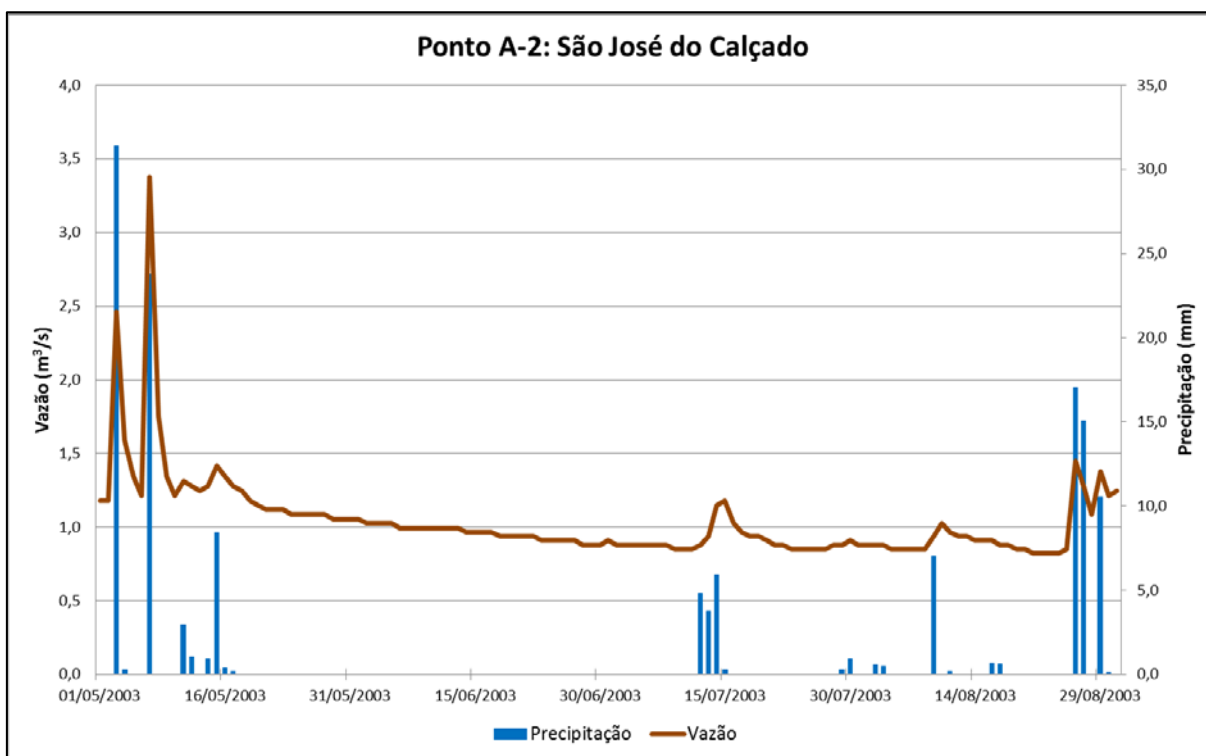


Figura B.4: Hidrograma e precipitação para o período de estiagem selecionado, em A-2.

Tabela B.2: Dados de vazão e precipitação do período de estiagem selecionado, em A-2.

Data	Vazão (m³/s)	Precipitação São José do Calçado (mm)	Precipitação Guaçuí (mm)	Precipitação Média da Bacia (mm)
17/05/2003	1,2789	0,2	0,0	0,2
18/05/2003	1,2458	0,0	0,0	0,0
19/05/2003	1,1807	0,0	0,0	0,0
20/05/2003	1,1488	0,0	0,0	0,0
21/05/2003	1,1174	0,0	0,0	0,0
22/05/2003	1,1174	0,0	0,0	0,0
23/05/2003	1,1174	0,0	0,0	0,0
24/05/2003	1,0863	0,0	0,0	0,0
25/05/2003	1,0863	0,0	0,0	0,0
26/05/2003	1,0863	0,0	0,0	0,0
27/05/2003	1,0863	0,0	0,0	0,0
28/05/2003	1,0863	0,0	0,0	0,0
29/05/2003	1,0556	0,0	0,0	0,0
30/05/2003	1,0556	0,0	0,0	0,0
31/05/2003	1,0556	0,0	0,0	0,0
01/06/2003	1,0556	0,0	0,0	0,0
02/06/2003	1,0253	0,0	0,0	0,0
03/06/2003	1,0253	0,0	0,0	0,0
04/06/2003	1,0253	0,0	0,0	0,0
05/06/2003	1,0253	0,0	0,0	0,0
06/06/2003	0,9955	0,0	0,0	0,0

VALSUGANA VELHA MONTANTE – A3

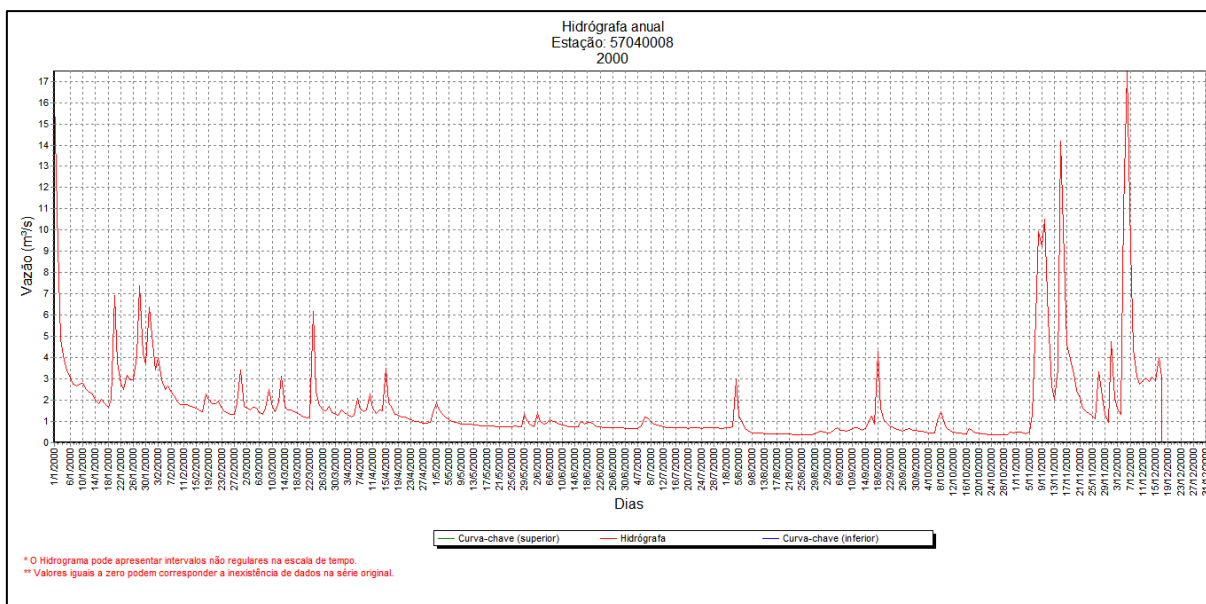


Figura B.5: Hidrograma gerado pelo Siscah 1.0, para o ponto A-3.

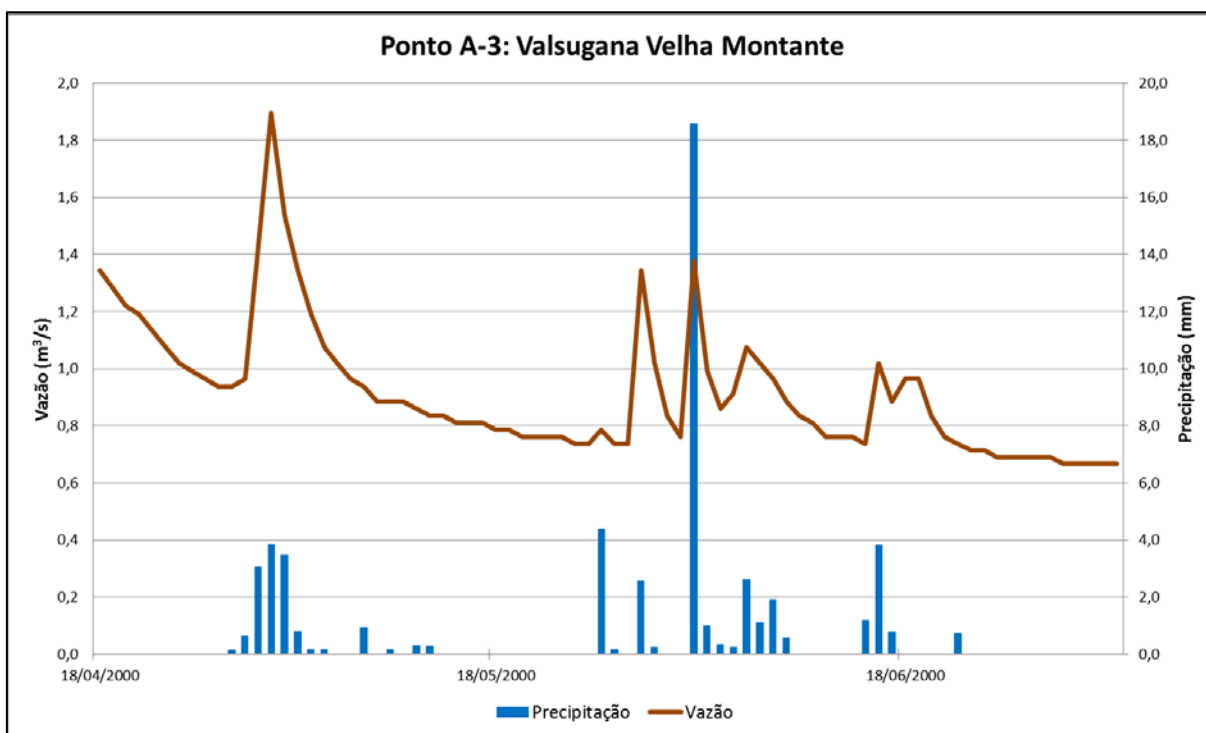


Figura B.6: Hidrograma e precipitação para o período de estiagem seleccionado, em A-3.

Tabela B.3: Dados de vazão e precipitação do período de estiagem selecionado, em A-3.

Data	Vazão (m³/s)	Precipitação Valsungana Velha Montante (mm)	Precipitação Caldeirão (mm)	Precipitação Média na Bacia (mm)
04/05/2000	1,1908	0,0	0,2	0,2
05/05/2000	1,0746	0,0	0,2	0,2
06/05/2000	1,0187	0,0	0,0	0,0
07/05/2000	0,9642	0,0	0,0	0,0
08/05/2000	0,9375	5,6	0,0	0,9
09/05/2000	0,8851	0,0	0,0	0,0
10/05/2000	0,8851	0,9	0,0	0,2
11/05/2000	0,8851	0,0	0,0	0,0
12/05/2000	0,8595	1,8	0,0	0,3
13/05/2000	0,8342	1,7	0,0	0,3
14/05/2000	0,8342	0,0	0,0	0,0
15/05/2000	0,8093	0,0	0,0	0,0
16/05/2000	0,8093	0,0	0,0	0,0
17/05/2000	0,8093	0,0	0,0	0,0
18/05/2000	0,7848	0,0	0,0	0,0
19/05/2000	0,7848	0,0	0,0	0,0
20/05/2000	0,7606	0,0	0,0	0,0
21/05/2000	0,7606	0,0	0,0	0,0
22/05/2000	0,7606	0,0	0,0	0,0
23/05/2000	0,7606	0,0	0,0	0,0
24/05/2000	0,7368	0,0	0,0	0,0
25/05/2000	0,7368	0,0	0,0	0,0

MATILDE (B-1)

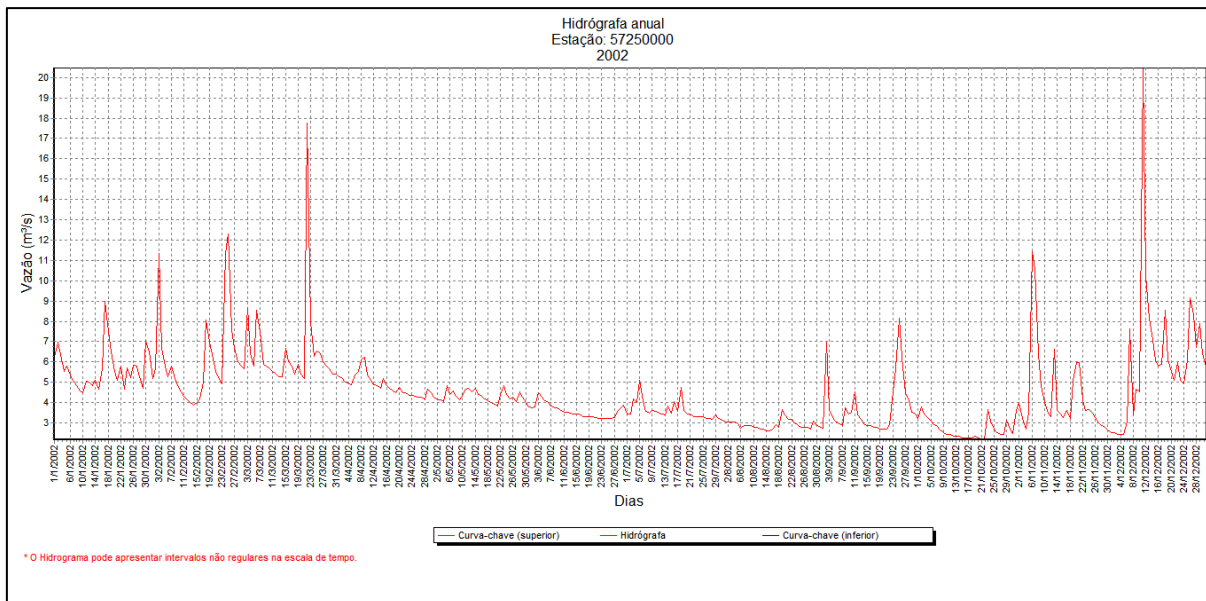


Figura B.7: Hidrograma gerado pelo Siscah 1.0, para o ponto B-1.

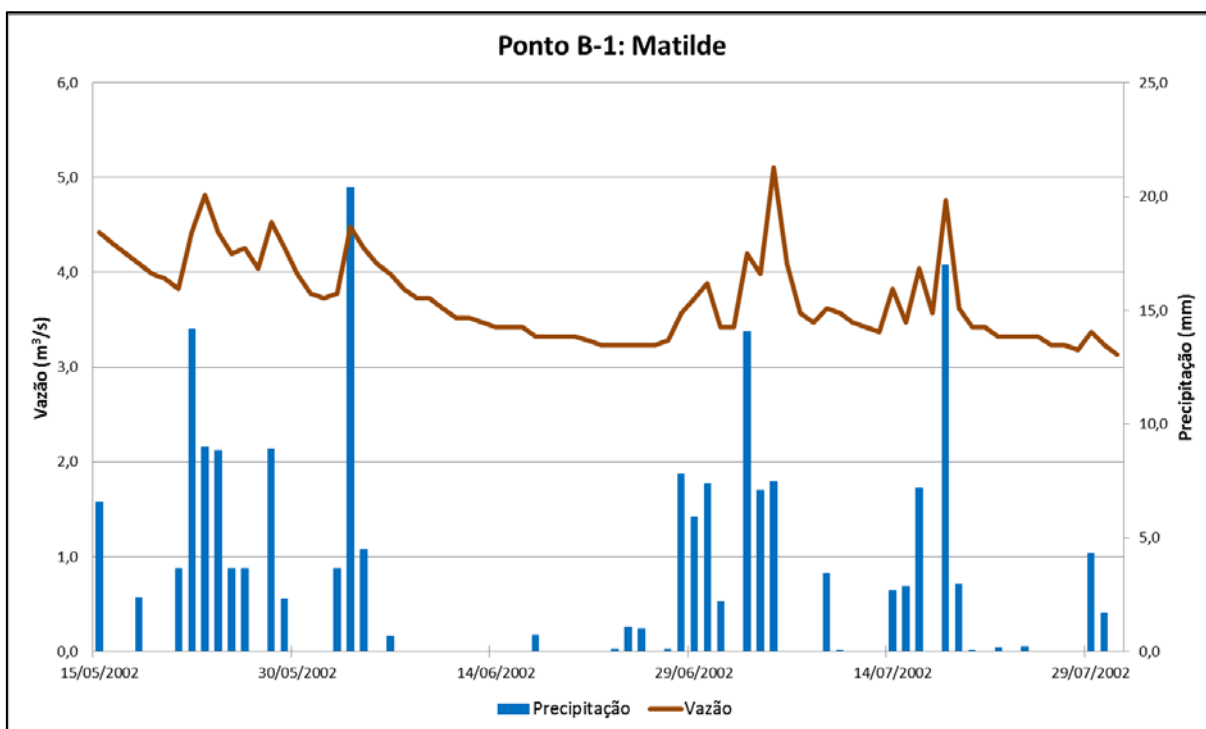


Figura B.8: Hidrograma e precipitação para o período de estiagem selecionado, em B-1.

Tabela B.4: Dados de vazão e precipitação do período de estiagem selecionado, em B-1.

Data	Vazão (m3/s)	Precipitação Matilde (DNOS) (mm)	Precipitação Vila Nova Maravilha (mm)	Precipitação Média na Bacia (mm)
05/06/2002	4,0920	0,0	0,0	0,0
06/06/2002	3,9857	0,0	1,9	0,7
07/06/2002	3,8286	0,0	0,0	0,0
08/06/2002	3,7254	0,0	0,0	0,0
09/06/2002	3,7254	0,0	0,0	0,0
10/06/2002	3,6236	0,0	0,0	0,0
11/06/2002	3,5230	0,0	0,0	0,0
12/06/2002	3,5230	0,0	0,0	0,0
13/06/2002	3,4732	0,0	0,0	0,0
14/06/2002	3,4237	0,0	0,0	0,0
15/06/2002	3,4237	0,0	0,0	0,0
16/06/2002	3,4237	0,0	0,0	0,0
17/06/2002	3,3258	0,0	2,0	0,7
18/06/2002	3,3258	0,0	0,0	0,0
19/06/2002	3,3258	0,0	0,0	0,0
20/06/2002	3,3258	0,0	0,0	0,0
21/06/2002	3,2773	0,0	0,0	0,0
22/06/2002	3,2291	0,0	0,0	0,0
23/06/2002	3,2291	0,0	0,3	0,1
24/06/2002	3,2291	0,0	2,9	1,1
25/06/2002	3,2291	0,0	2,7	1,0
26/06/2002	3,2291	0,0	0,0	0,0

USINA FORTALEZA (B-2)

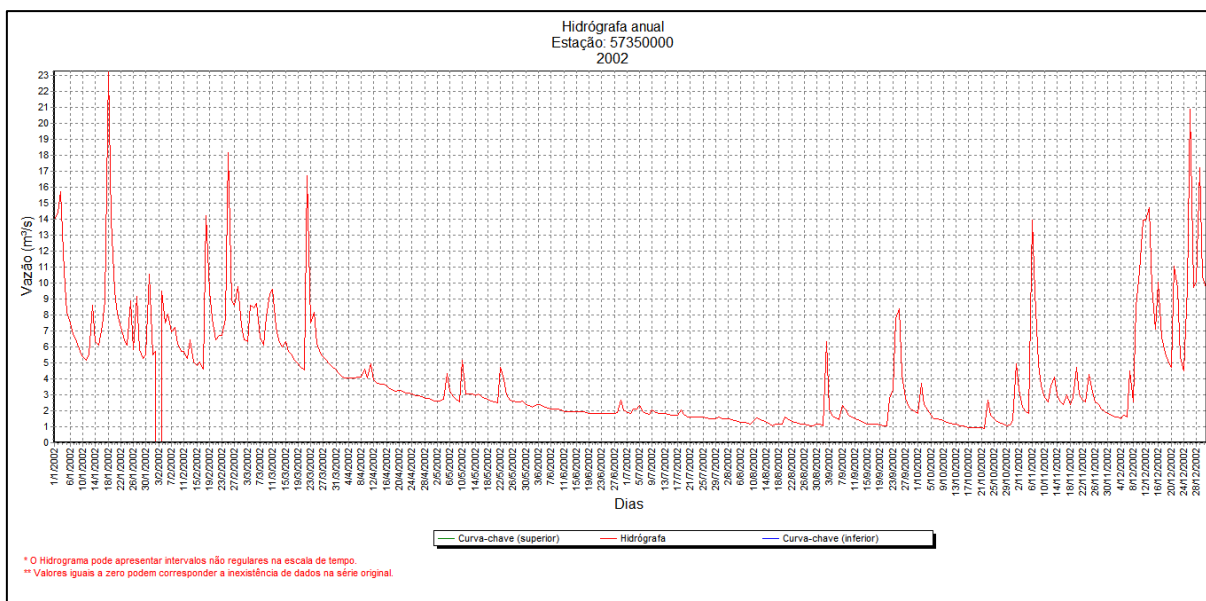


Figura B.9: Hidrograma gerado pelo Siscah 1.0, para o ponto B-2.

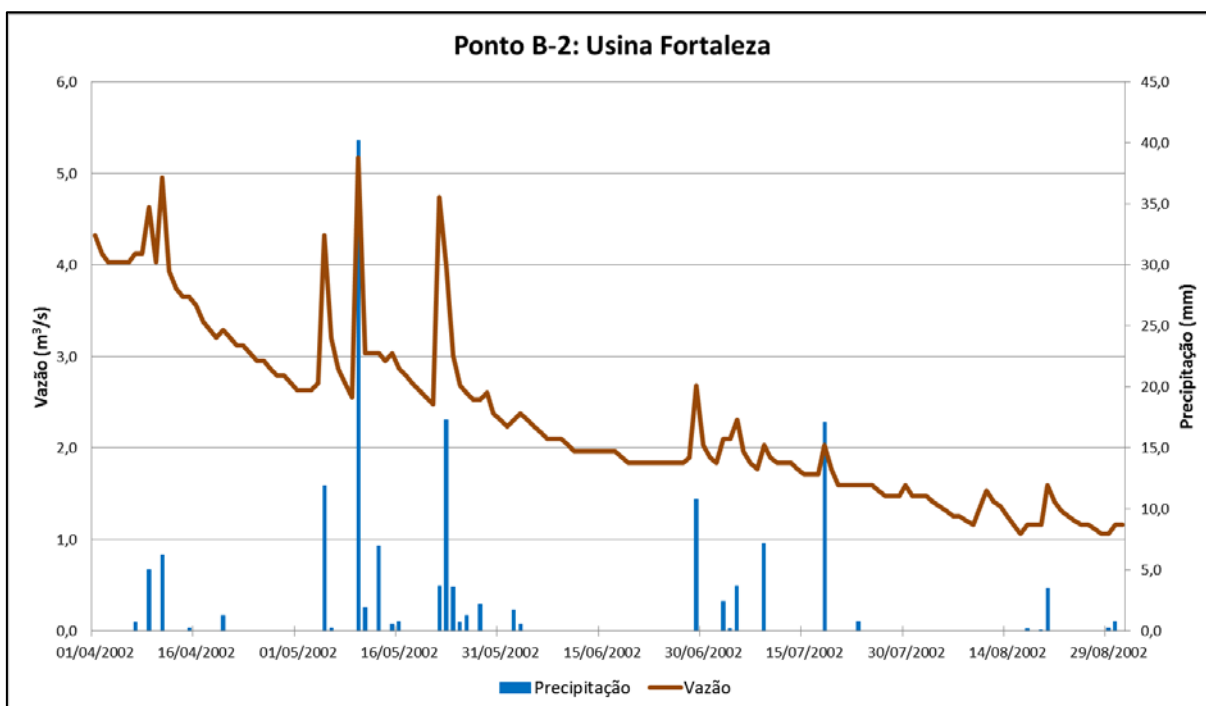


Figura B.10: Hidrograma e precipitação para o período de estiagem selecionado, em B-2.

Tabela B.5: Dados de vazão e precipitação do período de estiagem selecionado, em B-2.

Data	Vazão (m³/s)	Precipitação Usina Fortaleza (mm)
29/05/2002	2,6064	0,0
30/05/2002	2,3812	0,0
31/05/2002	2,3087	0,0
01/06/2002	2,2373	0,0
02/06/2002	2,3087	1,7
03/06/2002	2,3812	0,6
04/06/2002	2,3087	0,0
05/06/2002	2,2373	0,0
06/06/2002	2,1672	0,0
07/06/2002	2,0983	0,0
08/06/2002	2,0983	0,0
09/06/2002	2,0983	0,0
10/06/2002	2,0306	0,0
11/06/2002	1,9642	0,0
12/06/2002	1,9642	0,0
13/06/2002	1,9642	0,0
14/06/2002	1,9642	0,0
15/06/2002	1,9642	0,0
16/06/2002	1,9642	0,0
17/06/2002	1,9642	0,0
18/06/2002	1,8989	0,0

Nota: A precipitação da estação pluviométrica Usina Fortaleza foi considerada a média para a bacia.

FAZENDA LARANJEIRAS (C-1)

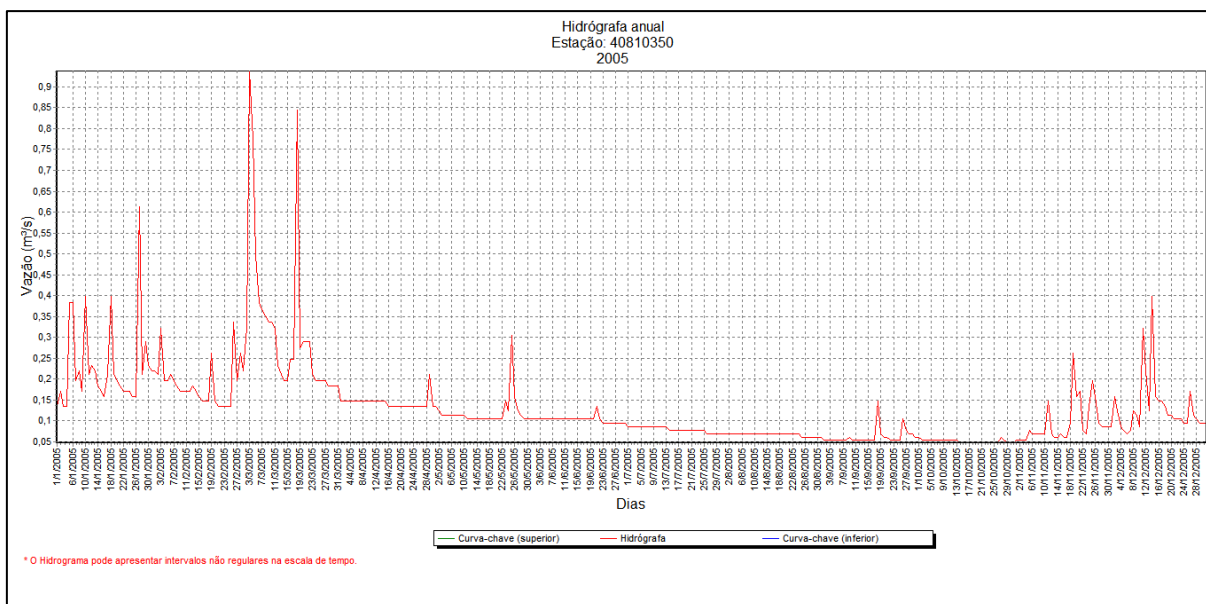


Figura B.11: Hidrograma gerado pelo Siscah 1.0, para o ponto C-1.

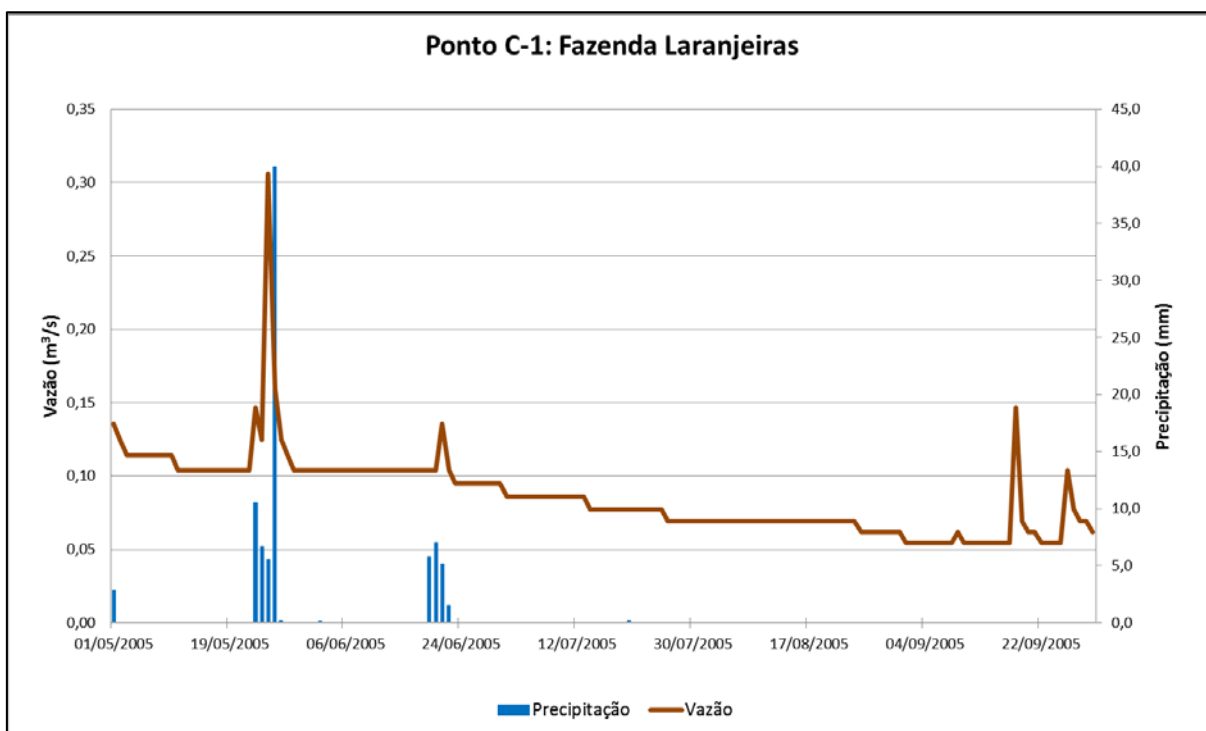


Figura B.12: Hidrograma e precipitação para o período de estiagem selecionado, em C-1.

Tabela B.6: Dados de vazão e precipitação do período de estiagem selecionado, em C-1.

Data	Vazão (m³/s)	Precipitação Calambau (mm)	Precipitação Faz. Laranjeiras Jusante (mm)	Precipitação Média na Bacia (mm)
24/06/2005	0,0948	0,0	0,0	0,0
25/06/2005	0,0948	0,0	0,0	0,0
26/06/2005	0,0948	0,0	0,0	0,0
27/06/2005	0,0948	0,0	0,0	0,0
28/06/2005	0,0948	0,0	0,0	0,0
29/06/2005	0,0948	0,0	0,0	0,0
30/06/2005	0,0948	0,0	0,0	0,0
01/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
02/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
03/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
04/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
05/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
06/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
07/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
08/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
09/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
10/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
11/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
12/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
13/07/2005	0,0858	0,0	0,0	0,0
14/07/2005	0,0773	0,0	0,0	0,0

FAZENDA PASTO GRANDE (C-2)

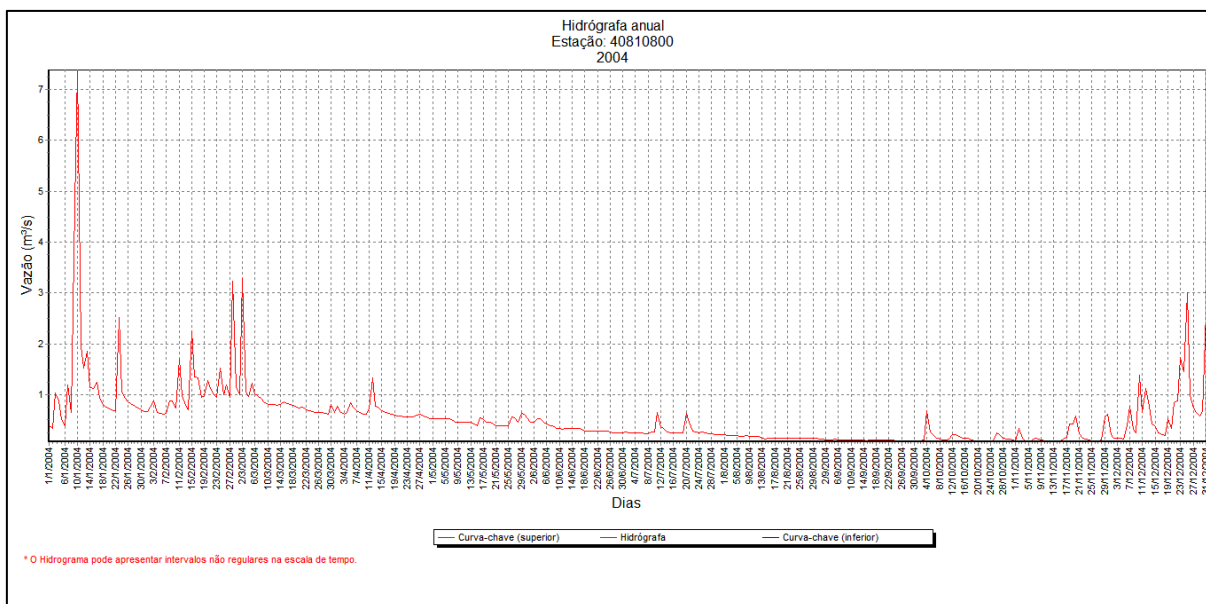


Figura B.13: Hidrograma gerado pelo Siscah 1.0, para o ponto C-2.

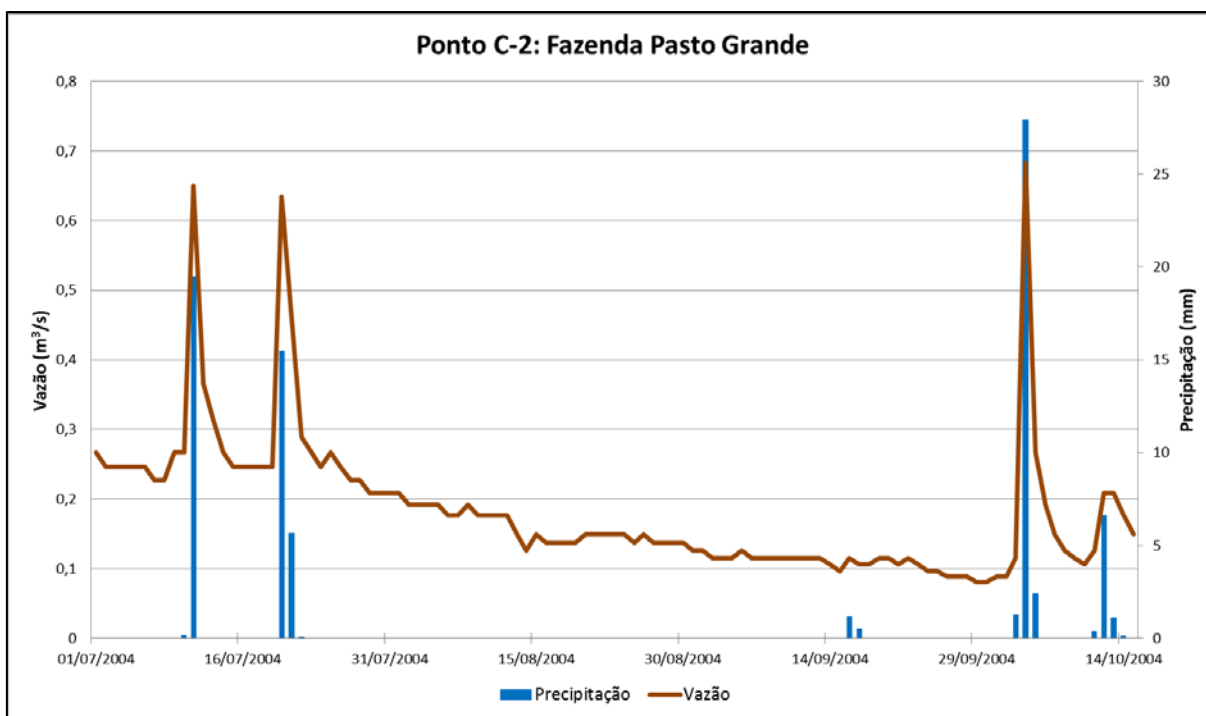


Figura B.14: Hidrograma e precipitação para o período de estiagem selecionado, em C-2.

Tabela B.7: Dados de vazão e precipitação do período de estiagem selecionado, em C-2.

Data	Vazão (m ³ /s)	Precipitação Fazenda Laranjeiras Jusante (mm)	Precipitação Fazenda Coqueiros (mm)	Precipitação Calambau (mm)	Precipitação Média na Bacia (mm)
22/07/2004	0,2888	0,0	0,0	0,3	0,0
23/07/2004	0,2666	0,0	0,0	0,0	0,0
24/07/2004	0,2459	0,0	0,0	0,0	0,0
25/07/2004	0,2666	0,0	0,0	0,0	0,0
26/07/2004	0,2459	0,0	0,0	0,0	0,0
27/07/2004	0,2267	0,0	0,0	0,0	0,0
28/07/2004	0,2267	0,0	0,0	0,0	0,0
29/07/2004	0,2089	0,0	0,0	0,0	0,0
30/07/2004	0,2089	0,0	0,0	0,0	0,0
31/07/2004	0,2089	0,0	0,0	0,0	0,0
01/08/2004	0,2089	0,0	0,0	0,0	0,0
02/08/2004	0,1923	0,0	0,0	0,0	0,0
03/08/2004	0,1923	0,0	0,0	0,0	0,0
04/08/2004	0,1923	0,0	0,0	0,0	0,0
05/08/2004	0,1923	0,0	0,0	0,0	0,0
06/08/2004	0,1769	0,0	0,0	0,0	0,0
07/08/2004	0,1769	0,0	0,0	0,0	0,0
08/08/2004	0,1923	0,0	0,0	0,0	0,0
09/08/2004	0,1769	0,0	0,0	0,0	0,0
10/08/2004	0,1769	0,0	0,0	0,0	0,0
11/08/2004	0,1769	0,0	0,0	0,0	0,0

IRAÍ DE MINAS (C-3)

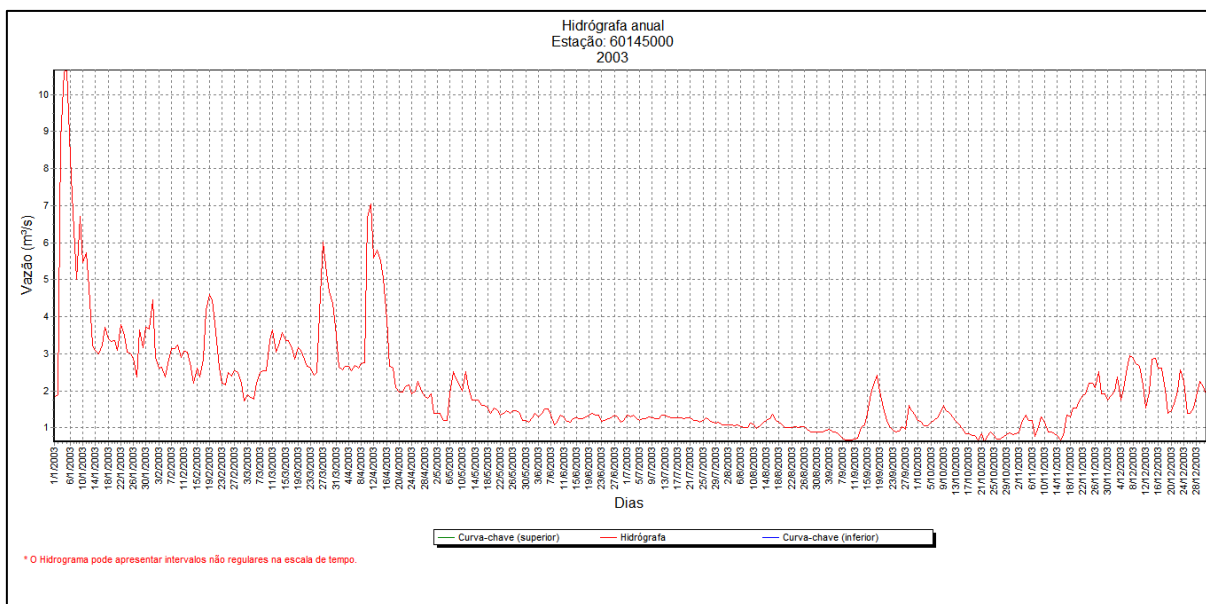


Figura B.15: Hidrograma gerado pelo Siscah 1.0, para o ponto C-3.

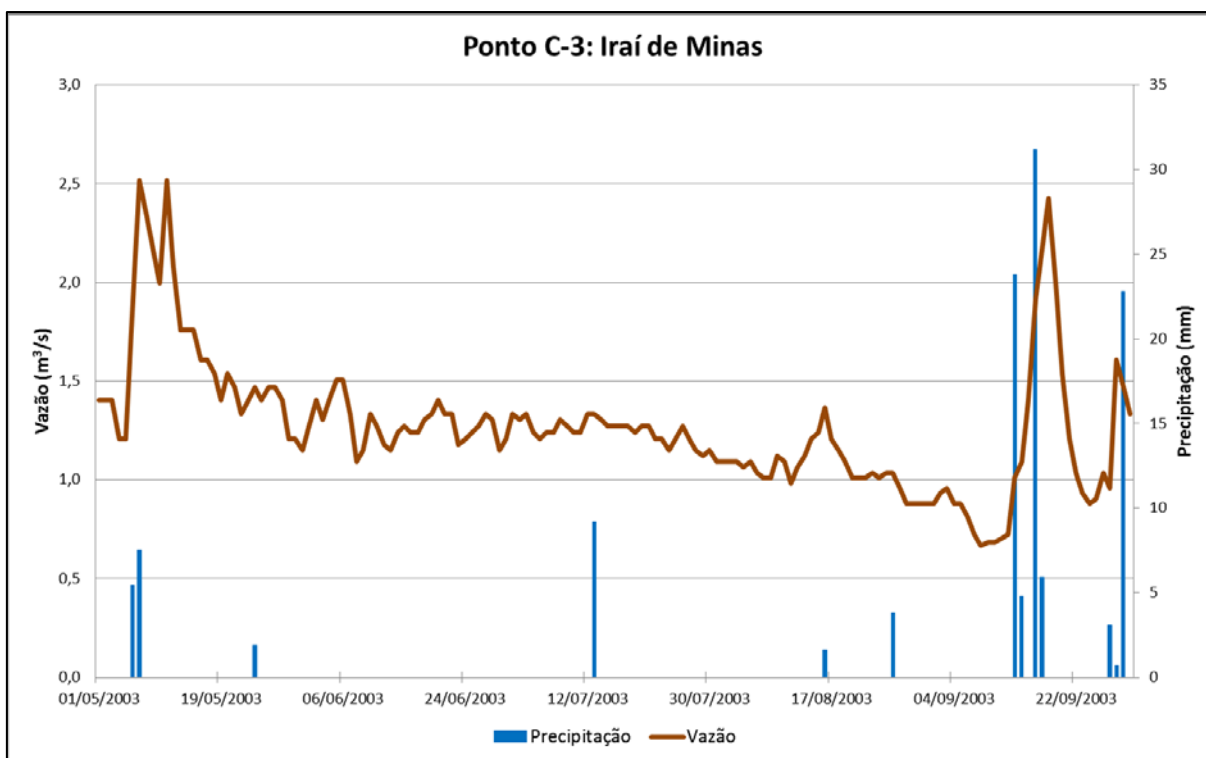


Figura B.16: Hidrograma e precipitação para o período de estiagem selecionado, em C-3.

Tabela B.8: Dados de vazão e precipitação do período de estiagem selecionado, em C-3.

Data	Vazão (m ³ /s)	Precipitação Iraí de Minas (mm)
14/07/2003	1,3035	0,0
15/07/2003	1,2720	0,0
16/07/2003	1,2720	0,0
17/07/2003	1,2720	0,0
18/07/2003	1,2720	0,0
19/07/2003	1,2405	0,0
20/07/2003	1,2720	0,0
21/07/2003	1,2720	0,0
22/07/2003	1,2090	0,0
23/07/2003	1,2090	0,0
24/07/2003	1,1500	0,0
25/07/2003	1,2090	0,0
26/07/2003	1,2720	0,0
27/07/2003	1,2090	0,0
28/07/2003	1,1500	0,0
29/07/2003	1,1205	0,0
30/07/2003	1,1500	0,0
31/07/2003	1,0910	0,0
01/08/2003	1,0910	0,0
02/08/2003	1,0910	0,0
03/08/2003	1,0910	0,0

Nota: A precipitação da estação pluviométrica Iraí de Minas foi considerada a média para a bacia.

Apêndice C

Resultados do ajuste do Método Silveira

As figuras seguintes (Figura C.1 a Figura C.8) apresentam os resultados gráficos dos ajustes efetuados pelo aplicativo SISPB, para o Método Silveira.

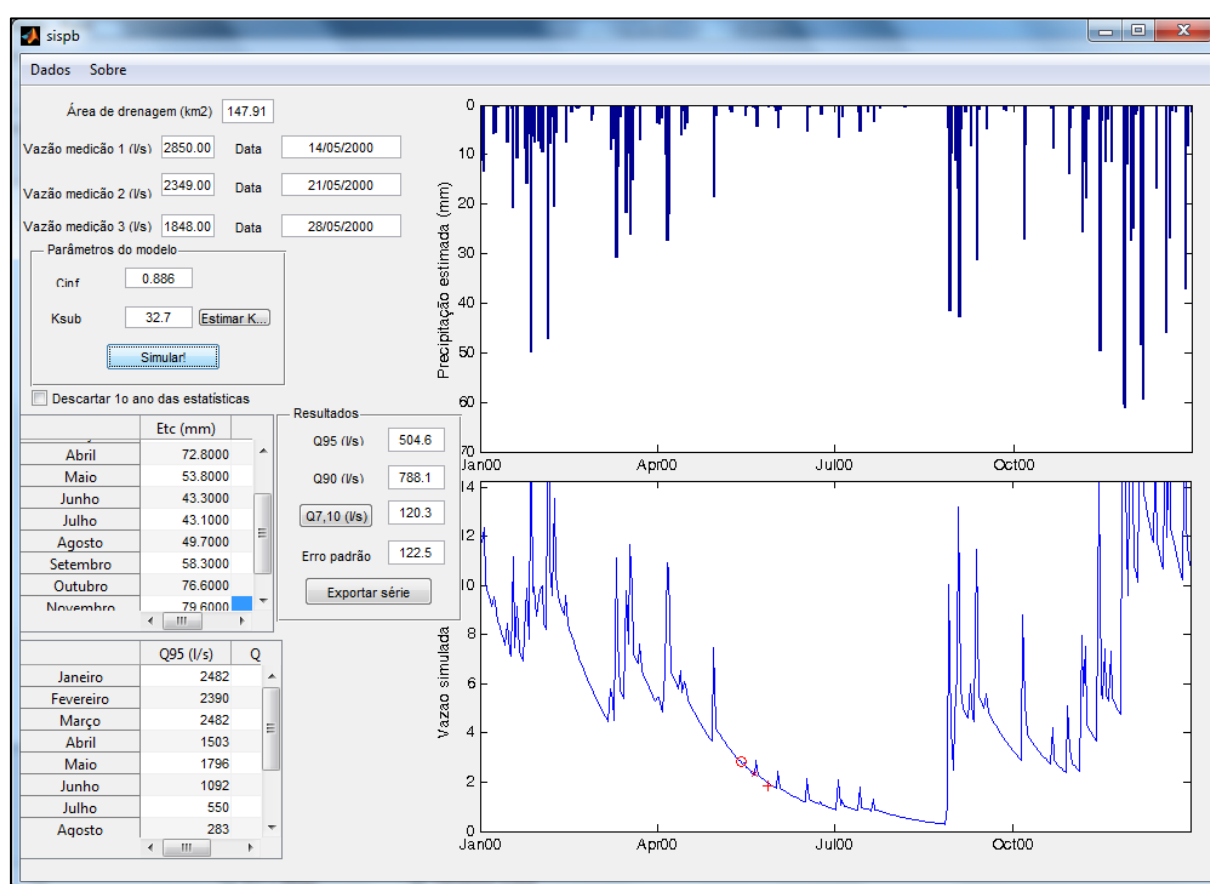


Figura C.1: Ajuste do modelo Silveira e estimativa das vazões mínimas no ponto A-1.

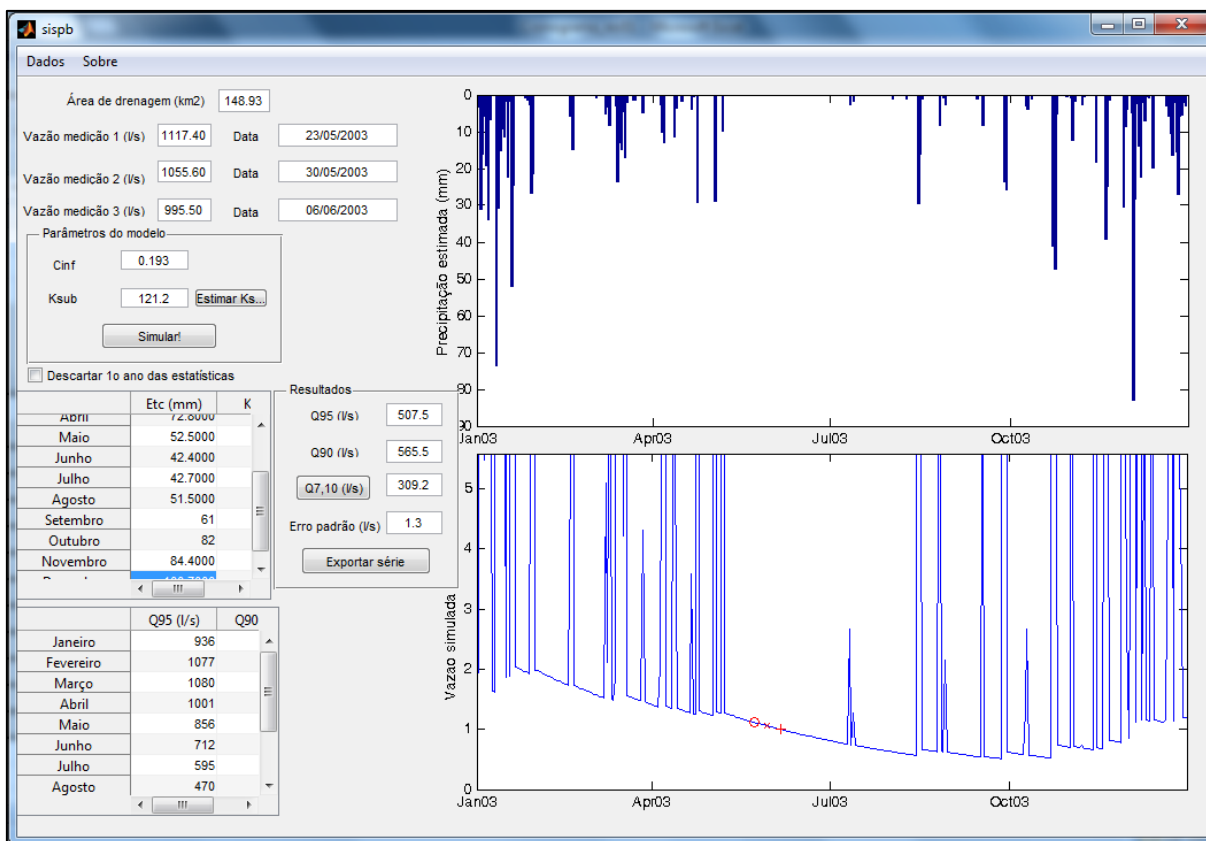


Figura C.2: Ajuste do modelo Silveira e estimativa das vazões mínimas no ponto A-2.

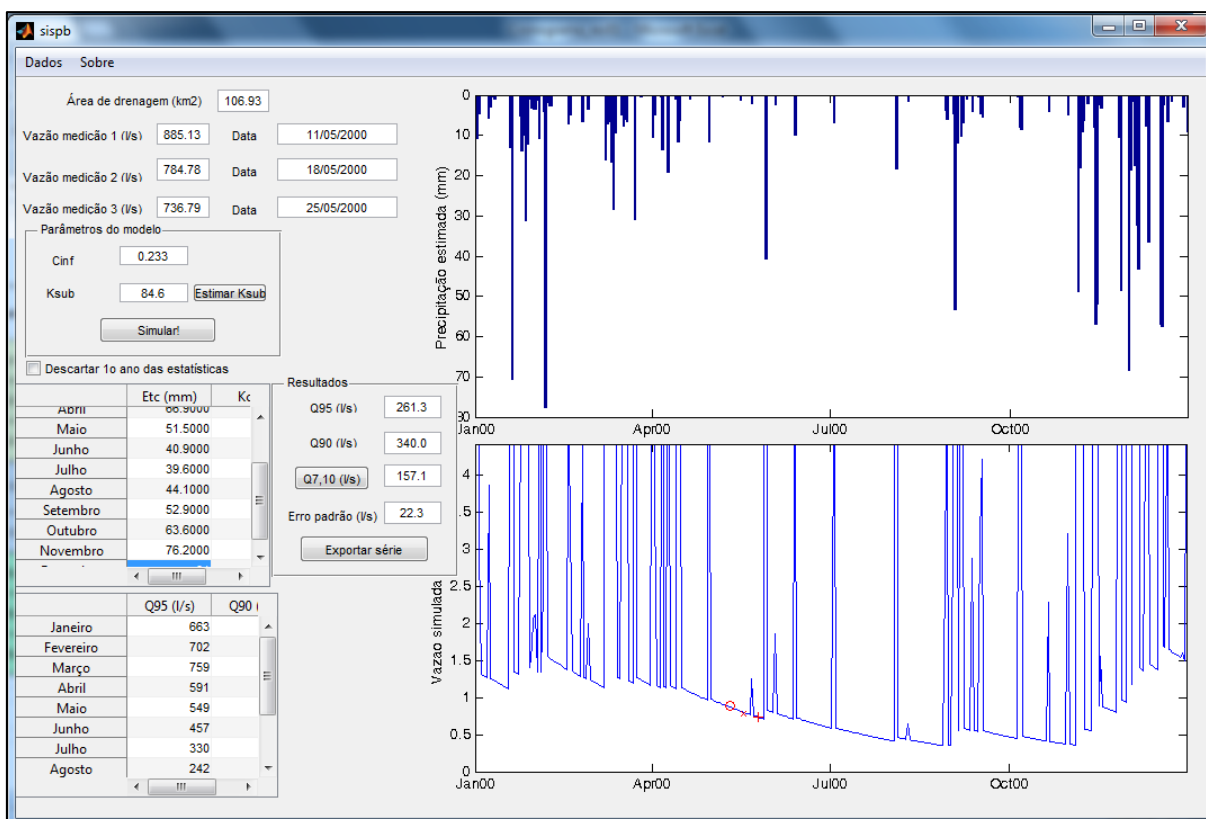


Figura C.3: Ajuste do modelo Silveira e estimativa das vazões mínimas no ponto A-3.

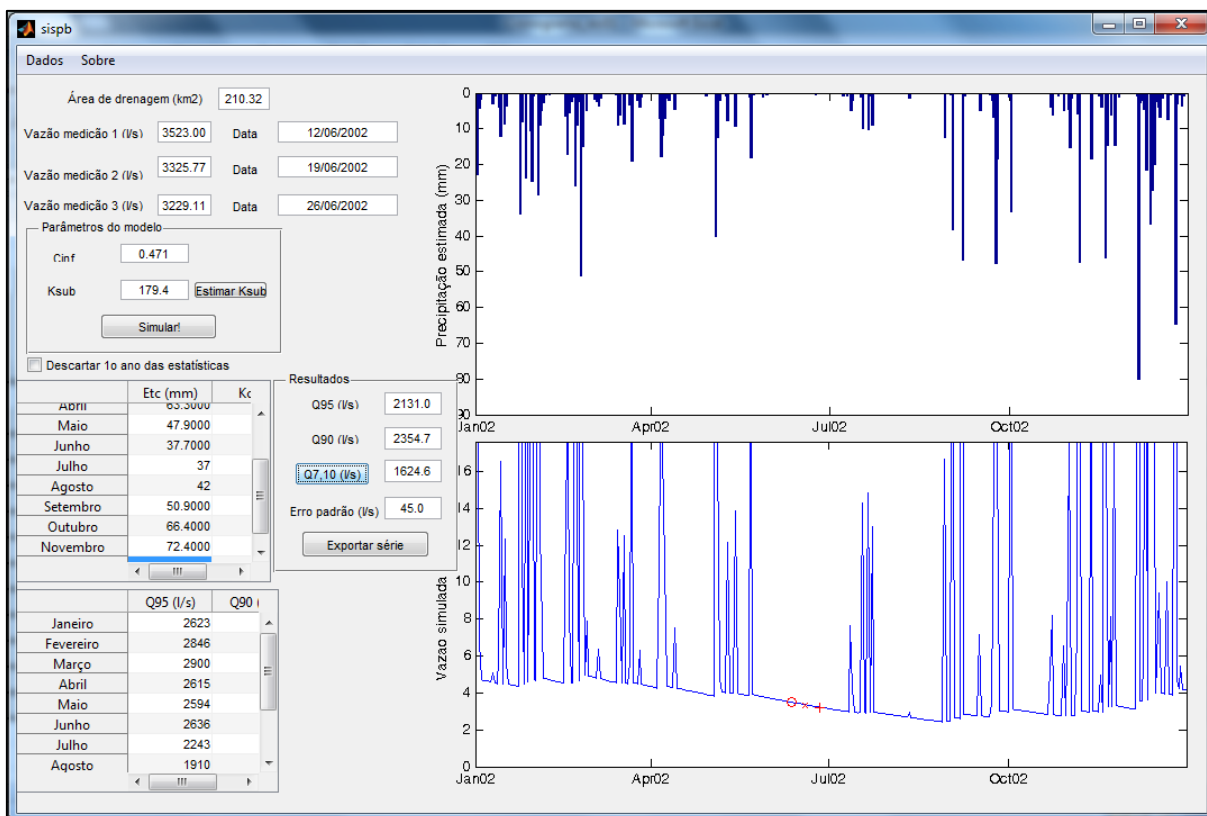


Figura C.4: Ajuste do modelo Silveira e estimativa das vazões mínimas no ponto B-1.

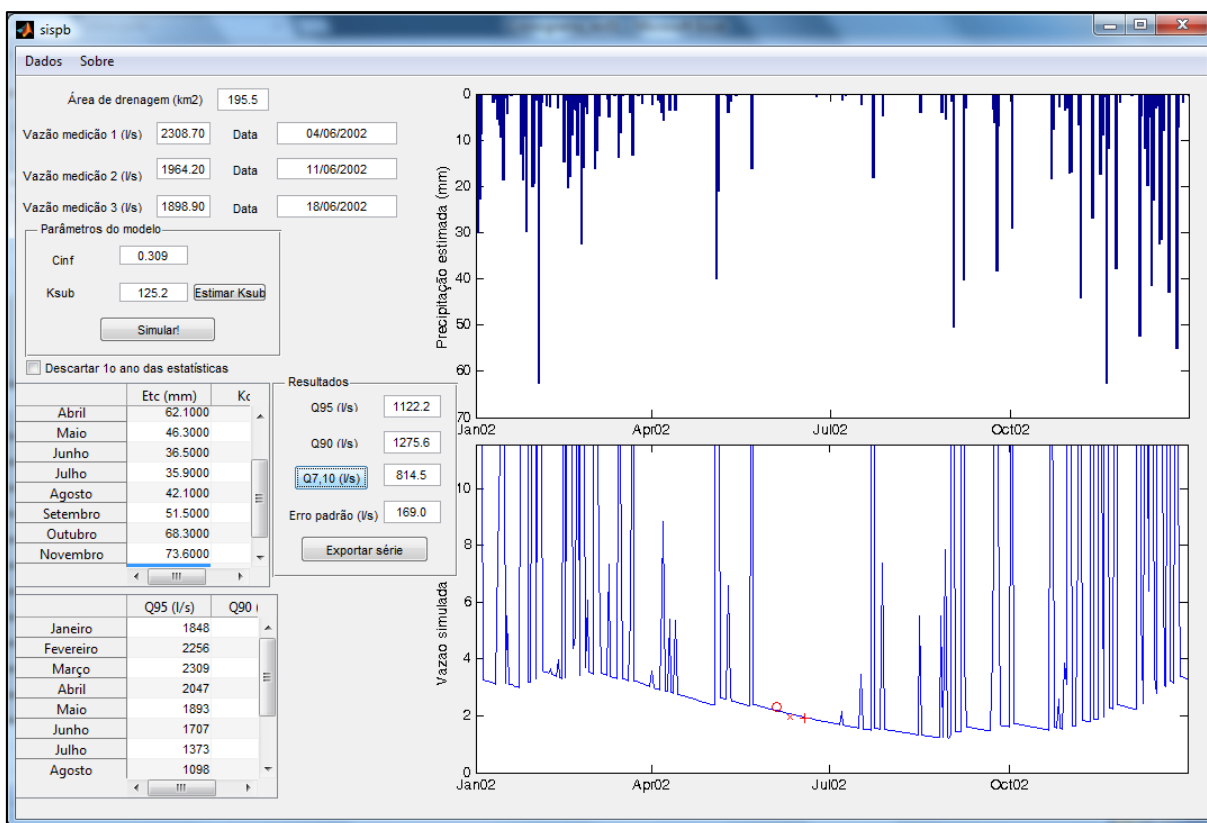


Figura C.5: Ajuste do modelo Silveira e estimativa das vazões mínimas no ponto B-2.

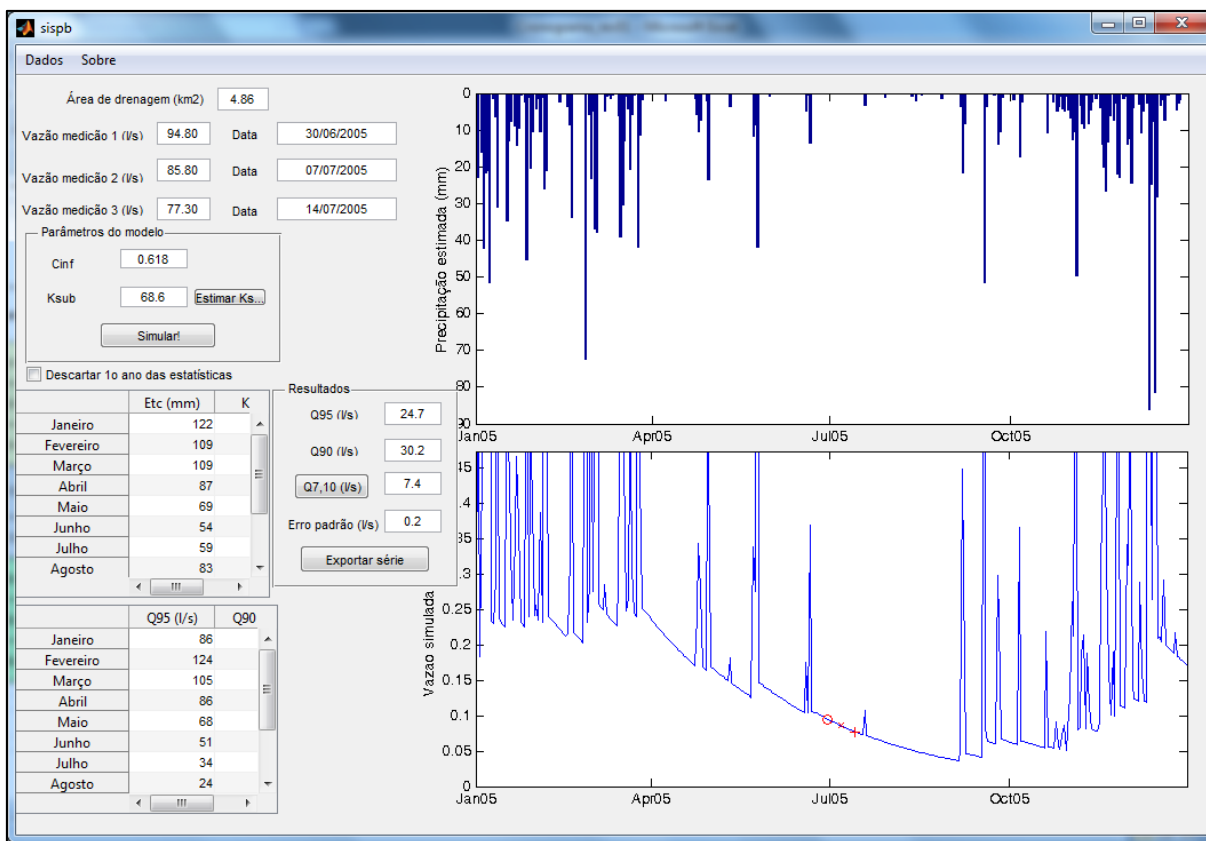


Figura C.6: Ajuste do modelo Silveira e estimativa das vazões mínimas no ponto C-1.

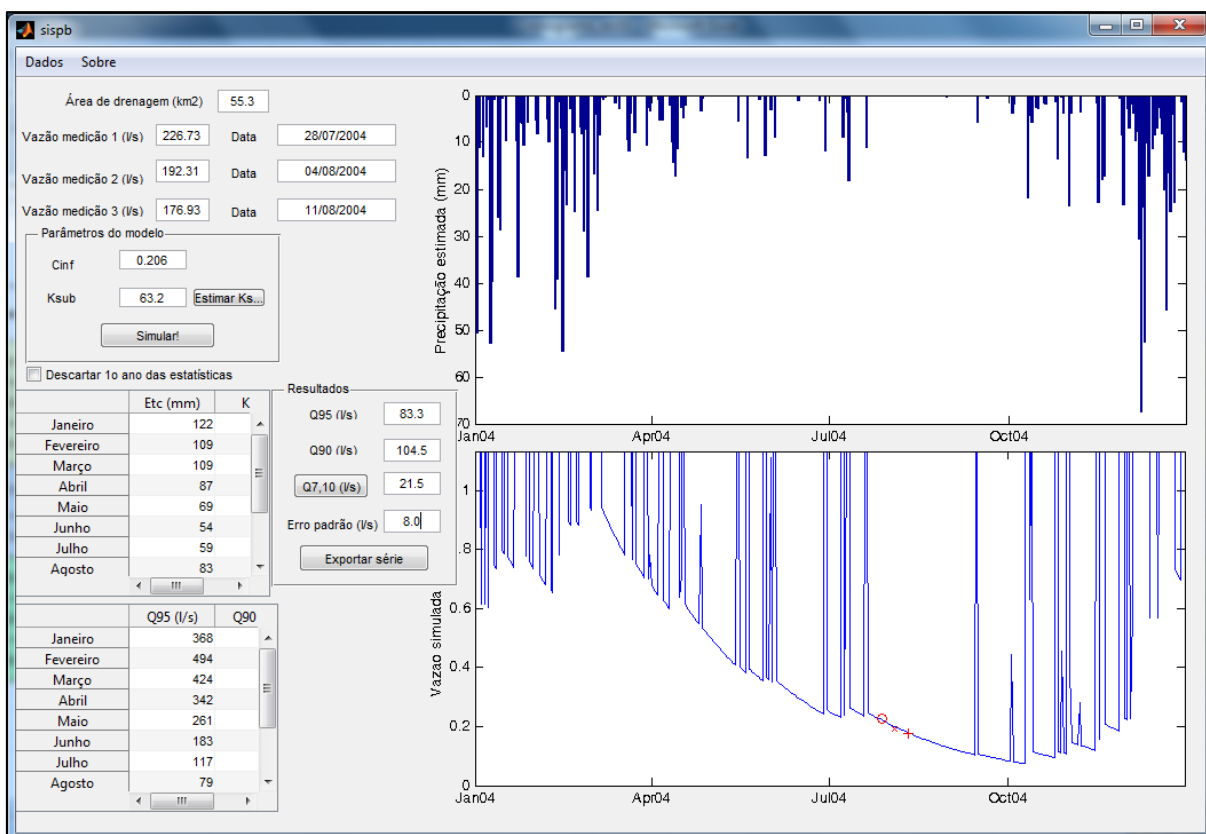


Figura C.7: Ajuste do modelo Silveira e estimativa das vazões mínimas no ponto C-2.

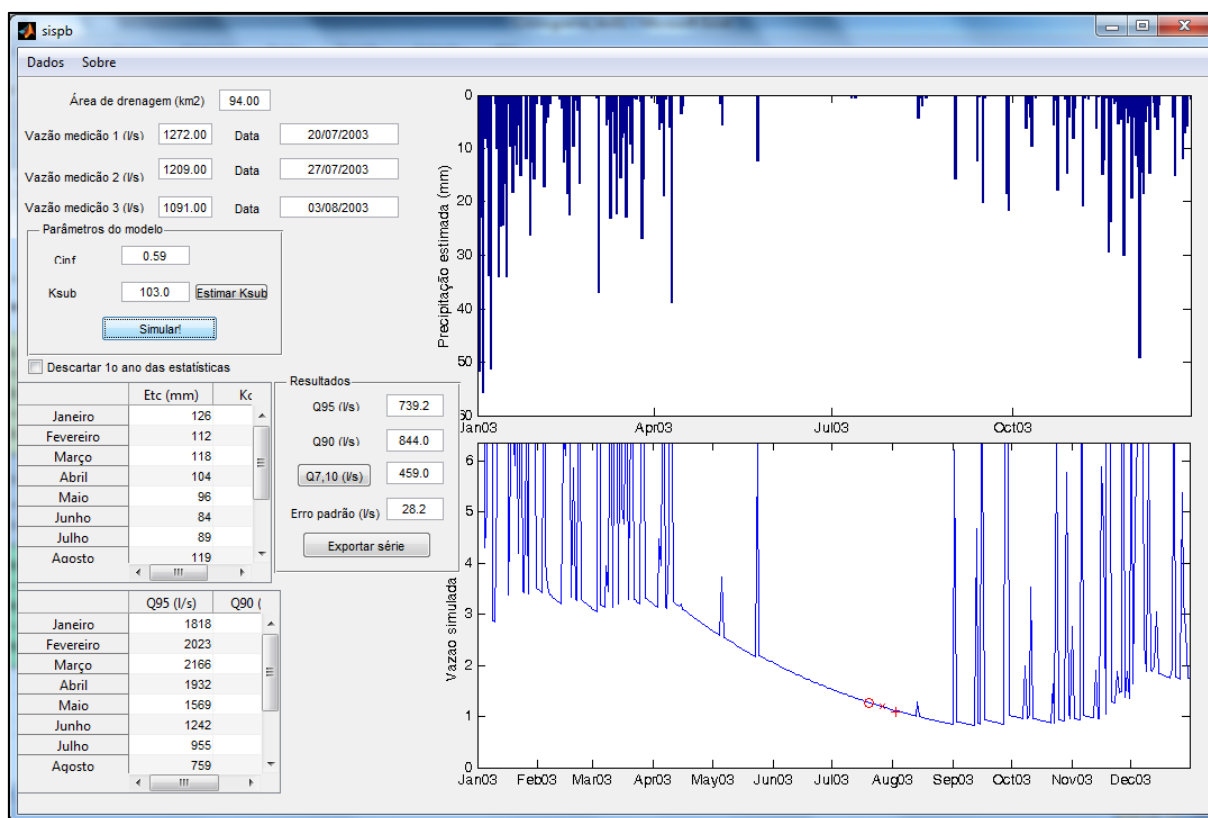


Figura C.8: Ajuste do modelo Silveira e estimativa das vazões mínimas no ponto C-3.